



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CEBADA CON POLIESTIRENO RESIDUAL PARA LA GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para obtener al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: PAULO ROBERTO CASTILLO SANTILLÁN

DIRECTOR: Ing. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Paulo Roberto Castillo Santillán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, PAULO ROBERTO CASTILLO SANTILLÁN, declaro que el presente trabajo de titulación es de mí autoría y los resultados de los mismos son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de marzo de 2022

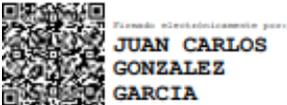


Paulo Roberto Castillo Santillán

C.I. 060378667-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que, el trabajo de titulación tipo: Proyecto de Investigación, **PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CEBADA CON POLIESTIRENO RESIDUAL PARA LA GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO**, realizado por el señor **PAULO ROBERTO CASTILLO SANTILLÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por: SOFIA CAROLINA GODOY PONCE	2022-03-10
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por: PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES Fecha: 2022.03.10 22:10:37 -05'00'	2022-03-10
Ing. Juan Carlos González García MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por: JUAN CARLOS GONZALEZ GARCIA	2022-03-10

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis queridos padres Roberto (+) y Mariana quienes con su inmenso amor, paciencia y esfuerzo han sabido apoyarme y me han guiado para hoy llegar a cumplir un sueño más en mi vida, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía caminando siempre de la mano de Dios. A mis hermanos Rolando, Andrea y Andrés quienes siempre han estado conmigo brindándome su cariño y apoyo incondicional durante el camino de mi vida universitaria, por estar ahí siempre conmigo gracias. A toda mi familia por siempre estar ahí, por la motivación que me han brindado con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan cumpliendo mis sueños.

Paulo

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento enorme primero a Dios quien con su bendición no me abandono ningún día brindándome salud, fortaleza e inteligencia para cumplir mi meta propuesta, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la Facultad de Ciencias y sus docentes por todas la formación y enseñanzas inculcadas. Al Ing. Paúl Palmay por su amistad brindada y quien compartiéndome la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional. Al Ing. Juan Carlos González por su guía en este proceso. A mi familia por su paciencia y apoyo, brindándome aliento siempre para cumplir mi meta.

Paulo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Problemática.....	3
1.2. Justificación.....	3

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Biomasa.....	5
2.1.1. <i>Clasificación de la biomasa</i>	5
2.1.2. <i>Conversión de la biomasa en energía</i>	5
2.2. Plásticos.....	5
2.2.1. <i>Residuos plásticos y su reciclaje</i>	6
2.2.2. <i>Tipos de plásticos</i>	6
2.2.3. <i>Termoplásticos</i>	7
2.2.4. <i>Poliestireno</i>	7
2.2.5. <i>Poliestireno residual</i>	8
2.3. Pirólisis.....	8
2.4. Cáscara de la cebada.....	8
2.4.1. <i>Tipos de cebada</i>	9
2.5. Biocombustible.....	9
2.5.1. <i>Origen de los biocombustibles</i>	9
2.5.2. <i>Que son los Biocombustibles</i>	10

2.5.3.	<i>Tipos de Biomasa</i>	10
--------	-------------------------------	----

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	12
3.1.	Localización de estudio	12
3.2.	Método de muestreo	12
3.3.	Técnicas de recolección de datos	12
3.3.1.	<i>Recolección de las muestras</i>	13
3.3.2.	<i>Población de estudio</i>	14
3.3.2.1.	<i>Tamaño de la muestra</i>	14
3.4.	Tipo de Investigación	14
3.5.	VARIABLES DE ESTUDIO	15
3.5.1.	<i>Identificación de variables</i>	15
3.5.2.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	15
3.5.2.1.	<i>Hipótesis General</i>	15
3.5.2.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	15
3.6.	PROCEDIMIENTOS	15
3.6.1.	<i>Uso del reactor de pirólisis</i>	15
3.6.2.	<i>Densidad</i>	17
3.6.3.	<i>Densidad API</i>	18
3.6.4.	<i>Viscosidad</i>	19
3.6.5.	<i>Punto de inflamación</i>	20
3.6.6.	<i>Destilación Fragmentada</i>	22
3.7.	FTIR	23
3.7.1.	<i>Poder Calorífico</i>	24
3.7.2.	<i>Índice de cetano calculado</i>	24
3.7.3.	<i>Análisis cromatográfico GC-MS</i>	25
3.7.4.	<i>Análisis estadístico</i>	25
3.7.4.1.	<i>Anova</i>	25

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	27
4.1.	Resultados de los rendimientos de los productos de pirólisis	27
4.1.1.	<i>Resultados de la densidad relativa y densidad API</i>	29

4.1.2.	<i>Resultados de viscosidad</i>	30
4.1.3.	<i>Punto de Inflamación</i>	30
4.1.4.	<i>Resultados de destilación del biocombustible</i>	31
4.1.5.	<i>Índice de Cetano Calculado</i>	32
4.1.6.	<i>Resultados de los análisis FT-IR</i>	32
4.1.6.1.	<i>Análisis FT-IR de los productos sólidos obtenidos de la pirólisis</i>	32
4.1.6.2.	<i>Análisis FT-IR de los productos líquidos obtenidos de la pirólisis</i>	33
4.1.7.	<i>Resultados del análisis cromatográfico GC/MS</i>	39
4.1.8.	<i>Análisis del poder calorífico</i>	40
4.1.9.	<i>Análisis estadístico</i>	41
4.1.10.	<i>Anova</i>	41
4.2.	Pruebas de Hipótesis	43
4.2.1.	<i>Hipótesis general</i>	43
4.2.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	43
4.2.2.1.	<i>Hipótesis I</i>	43
4.2.2.2.	<i>Hipótesis II</i>	43
4.2.2.3.	<i>Hipótesis III</i>	44
CONCLUSIONES		45
RECOMENDACIONES		46
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipo de plásticos	6
Tabla 2-2:	Tipos de Biomasa	10
Tabla 1-4:	Peso en gramos de los resultados obtenidos en el proceso de pirólisis	27
Tabla 2-4:	Rendimientos en porcentaje (%) de los resultados obtenidos en la pirólisis	28
Tabla 3-4:	Resultados de la densidad.....	29
Tabla 4-4:	Densidad y grados API.....	29
Tabla 5-4:	Clasificación de los combustibles según su gravedad API y su densidad.	29
Tabla 6-4:	Resultados de viscosidad cinemática	30
Tabla 7-4:	Resultados punto de inflamación.....	30
Tabla 8-4:	Curva de destilación	31
Tabla 9-4:	Resultados del índice de cetano calculado	32
Tabla 10-4:	Compuestos del diésel comercial	37
Tabla 11-4:	Análisis comparativo del espectro IR Diesel Comercial vs Muestras	37
Tabla 12-4:	Espectros análisis FT-IR	39
Tabla 13-4:	Hidrocarburos presentes en la muestra 4.	39
Tabla 14-4:	Hidrocarburos presentes en la muestra 7.	40
Tabla 15-4:	Tipos de hidrocarburos por el número de carbonos.	40
Tabla 16-4:	Datos preliminares del ANOVA.....	41
Tabla 17-4:	Análisis de la varianza.....	41
Tabla 18-4:	Análisis de Test de TUKEY	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3:	Localización del laboratorio de la ESPOCH	12
Figura 2-3:	Cáscara de cebada	13
Figura 3-3:	Poliestireno.....	14
Figura 4-3:	Reactor de Pirólisis.....	16
Figura 5-3:	Densidad API.....	18
Figura 6-3:	Viscosidad.....	19
Figura 7-3:	Flash Point.....	21
Figura 8-3:	Destilación Fragmentada.....	22
Figura 9-3:	FTIR.....	23
Figura 10-3:	Poder Calorífico	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Rendimiento de los productos obtenidos de la pirólisis	28
Gráfico 2-4:	Curva de destilación.....	31
Gráfico 3-4:	Espectro IR de los residuos sólidos obtenidos de las muestras 1 a la 7	33
Gráfico 4-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 1	34
Gráfico 5-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 2	34
Gráfico 6-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 3	35
Gráfico 7-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 4	35
Gráfico 8-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 5	36
Gráfico 9-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 6	36
Gráfico 10-4:	Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 7	37

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PREPARACIÓN DE MUESTRA Y PESOS DE LAS MUESTRAS
- ANEXO B:** TOMA DE MUESTRAS DEL PROCESO - REACTOR DE PIRÓLISIS
- ANEXO C:** PRUEBAS DE FLASH POINT
- ANEXO D:** PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA LA DESTILACIÓN FRACCIONADA
- ANEXO E:** MUESTRAS DE BIOCOMBUSTIBLE DESTILADAS
- ANEXO F:** MUESTRAS LÍQUIDAS DEL RESULTADO - PROCESO DE PIRÓLISIS
- ANEXO G:** MUESTRAS SÓLIDAS DEL RESULTADO DE LA PIRÓLISIS
- ANEXO H:** ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA A 400°C
- ANEXO I:** INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAFÍA GC-MS
- ANEXO J:** ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO
- ANEXO K:** INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAMA 21-281.1
- ANEXO L:** ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO
- ANEXO M:** INFORME ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO
- ANEXO N:** INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAMA 21-281.2

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo obtener combustible a través de un proceso de pirólisis utilizando como materia prima la cáscara de cebada y el poliestireno residual, los mismos que fueron obtenidos a partir de residuos sólidos plásticos que fueron triturados y lavados en el laboratorio; y la cáscara de la cebada fue recogida de las distintas bodegas de los molinos donde realizan procesos de pelado de granos, ubicados alrededor del mercado San Alfonso de la ciudad de Riobamba. Este reciclaje químico, se llevó a cabo a una temperatura de 400 grados Celsius para analizar el efecto de la temperatura sobre el rendimiento del producto final. El experimento se llevó a cabo en un reactor de pirólisis. Para el análisis de la fracción líquida se aplicó técnicas de espectroscopía FT-IR, densidad, viscosidad, punto de inflamación, destilación fragmentada, cromatografía GC-MS y poder calorífico. El resultado de la pirólisis fue con un alto poder calorífico de 44546,81 kJ/kg. El rendimiento líquido más alto fue de 67,133 por ciento obtenido a 400 grados Celsius, con esto, se determinó que la temperatura óptima de la pirólisis es a 400 grados Celsius con un rendimiento superior al 60 por ciento. Además, a 400 grados Celsius se verificó una mayor cantidad, alrededor de 49,019 por ciento, de hidrocarburos ligeros comprendidos entre carbono 4 a carbono 12. Se recomienda efectuar estudios centrados en otras variables del proceso para analizar una posible mejora en el rendimiento del producto final.

Palabras clave: <CEBADA (Hordeum vulgare)>, <POLIESTIRENO>, <LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES QUÍMICOS>, <PIRÓLISIS>, <RECICLAJE QUÍMICO>, <HIDROCARBUROS>, <BIOCOMBUSTIBLE>, <ANOVA (SOFTWARE)>.

LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): cn=BC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION SCIANCI, l=QUITO, email=lemedn@bce.com.ec, cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.03.11 11:37:07 -0500



0452-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the research was to obtain fuel through a pyrolysis process using barley husk and residual polystyrene as raw material, which were obtained from solid plastic waste that was crushed and washed in the laboratory. The barley husk was collected from different mill warehouses where grain peeling processes are carried out, these places are located around San Alfonso market in Riobamba. This chemical recycling was carried out at 400 degrees Celsius in order to analyze the effect of the temperature in the obtention of the final product. The experiment was carried out in a pyrolysis reactor and for the liquid fraction analysis, FT- IR spectroscopy, density, viscosity, flash point, fragmented distillation, GC-MS chromatography and calorific value techniques were applied. The pyrolysis analysis resulted in a high calorific value of 44546.81 kJ/kg. The highest liquid performance was 67.133 percent obtained at 400 degrees Celsius, in this way it was possible to determine that the optimum pyrolysis temperature is at 400 degrees Celsius with a performance greater than 60 percent. In addition, at 400 degrees Celsius, a greater amount, 49.019 percent approximately, of light hydrocarbons ranging from carbon 4 to carbon 12 was verified. It is recommended to carry out studies focused on other process variables to analyze a possible improvement in the performance of the final product.

Keywords: <BARLEY (Hordeum vulgare)>, <POLYSTYRENE>, <CHEMICAL INDUSTRIAL PROCESSES LABORATORY>, <PYROLYSIS>, <CHEMICAL RECYCLING>, <HYDROCARBONS>, <BIOFUEL>, <ANOVA (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:
**PAUL ROLANDO
ARMAS PESANTEZ**

INTRODUCCIÓN

La provincia de Chimborazo se ha caracterizado por ser un sector de gran producción agrícola una de las más grandes del centro del país, se llegan a producir cultivos de diferente índoles, en esta provincia siempre se ha dado la producción, cultivo y cosecha de la cebada, está en su gran mayoría era vendida para producir harina y destinada hacia el consumo local, con el pasar del tiempo y los años se ha expandido su distribución y a su vez el productor de cebada se ha capacitado para cultivar diferentes variedades de la misma y extender su venta, en mayor cantidad y porcentaje esta es destinada a empresas cerveceras nacionales que han dado apoyo y a su vez firmado alianzas entre estos sectores para generar una mayor producción de cebada. Esto conlleva a que exista un porcentaje alto de residuos de cáscara de cebada, este desecho tiene varios destinos, una parte es adquirida por los molinos de la provincia para generar afrecho, otra parte es almacenada por los mismos productores como abono para volver a sembrar el producto y una gran cantidad simplemente es desechada sin destino fijo (Márquez, 2020, p.6).

En cuanto al desecho de plástico residual, a nivel mundial millones de toneladas de residuos (biomasa) de los desechos orgánicos e inorgánicos que son generados en los diferentes espacios del mundo, por medio de la técnica de la pirólisis que es un proceso de descomposición química el mismo que trabaja a temperaturas que van desde los 400°C a 600°C teniendo como resultado final la fracción líquida, sólida y gaseosa de los componentes ingresados para posterior a esto obtener un rendimiento en porcentaje de cada una de las fracciones, y así generar un biocombustible de buenas características que sean favorables al medio ambiente.

OBJETIVOS

❖ Objetivo General

- Producir combustible líquido por pirólisis a partir de residuos de cáscara de cebada con poliestireno residual.

❖ Objetivos Específicos

- Caracterizar la biomasa de la cáscara de cebada por revisión bibliográfica con el fin de conocer la cantidad adecuada para su uso.
- Determinar la temperatura óptima del proceso para la obtención de combustible líquido por medio de pirólisis.
- Evaluar los parámetros de calidad en el producto obtenido por medio de análisis químicos para ver su composición final.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática

En la actualidad la provincia de Chimborazo es una de las productoras agrícolas más fuertes del centro del País, aquí se llegan a generar cultivos de diferente índole, pero también existe gran generación de residuos (biomasa) de los productos orgánicos e inorgánicos que llegan al mercado, existen alternativas para remediar estos residuos y disminuir la huella de carbono, es así una de estas la obtención y generación de bio-combustibles, por medio de pirólisis de los residuos generados en el sector mercantil (Cabezas, 2010, p.21). Cabe mencionar que el plástico a la vez es parte fundamental de las personas en el diario vivir generando a nivel mundial millones de toneladas de residuos plásticos que con el pasar de los años va creciendo más el número de personas que lo usan, esta dependencia actual ha generado la necesidad de tratar adecuadamente estos residuos luego de su vida útil, es así el no acumularlos o desecharlos a rellenos sanitarios que bien se sabe afecta a la salud de las personas, animales y es un gran problema y aporte para la contaminación ambiental del mundo (Ibay, 2018, p.41).

Es por ello que se ha planteado el tema de una pirólisis mediante poliestireno para en un adecuado proceso generar biocombustible que no afecta, no contamina y es un aporte a que los residuos sean considerados para generar mayor combustible amigable con el ambiente, que no contamine, que no afecte, ni dañe, y a la vez no perjudique al medio ambiente con la acumulación de desechos cada año y a la vez es una alternativa para que los países puedan generar réditos económicos en base a la producción de bio-combustible (Morales, 2018, p.16).

1.2. Justificación

La pirólisis se trata del proceso térmico de descomposición química de compuestos que están constituidos de carbono como plásticos, está a su vez se realiza en ausencia de oxígeno, se obtiene bio-combustible, en los últimos años la reutilización eficiente de los residuos de plástico ayudado a la protección del ambiente, a la vez gran cantidad de estos residuos han sido dispuestos en vertederos o a su vez son incinerados como soluciones poco aceptables hacia la preservación del medio ambiente, por lo que se propone el tema en la reutilización eficiente de la biomasa desechada y la energía que se obtendrá de la misma (Quimbita, 2019, p.33).

La pirólisis es un proceso prometedor para la transformación de los residuos de poliestireno y a su vez el aprovechamiento mediante la biomasa a usar, se basa en la descomposición de polímeros

que son sometidos a diferentes temperaturas para así generar obtención de bio-combustible, y a su vez con la reducción de los residuos como una ventaja a la preservación del medio ambiente. El uso de la biomasa desechada acompañada de la pirólisis son procesos efectivos para una generación de bio-combustible, la pirólisis se basa en la descomposición de polímeros a diferentes temperaturas para así obtener el combustible deseado a su vez se tiene la ventaja de reducción de residuos (Quimbita, 2019, p.33).

En la presente investigación podremos establecer el comportamiento de la descomposición de los residuos y del poliestireno residual para evaluar el efecto de cada una de estas al momento de generar el resultado final que es la obtención de bio-combustible y así determinar la factibilidad de emplear este tipo de biomasa a gran escala para la generación de combustibles amigables con el medio ambiente.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Biomasa

La biomasa se define como la materia orgánica que es manejada como fuente de energía, la misma que engloba distintas materias orgánicas caracterizadas por su diversificación, comprendiendo su origen y naturaleza. La estimación de la misma se puede desarrollarse en cuatro procesos a través de estas se transforman en calor y electricidad. Además, es considerada como la fracción biodegradable de desechos, residuos y productos de carácter biológico, animal, vegetal e industrial.

2.1.1. Clasificación de la biomasa

Biomasa natural: es la que se produce en ecosistemas naturales que no haya intervenido la mano del hombre, en la actualidad es una de las principales fuentes energéticas.

Biomasa residual: son los residuos producidos por la actividad humana, de industrias donde se componen los residuos de actividades agrícolas, forestales de jardinería, industria agrícola, forestal, residuos ganaderos y agroindustriales (Lucas et al., 2012, p.29).

Cultivos energéticos: son cultivos no alimentarios, realizados con la finalidad de su aprovechamiento energético.

Excedentes agrícolas: constituidos por los productos agrícolas que no emplea el hombre (Ambientum, 2018, p.8).

2.1.2. Conversión de la biomasa en energía

La conversión de la biomasa es un proceso que puede ser utilizada con fines energéticos, esta debe ser transformada en formas derivadas como carbón vegetal, gas, etanol, en donde existen tecnologías de conversión simples y tradicionales, los más relevantes son proceso de combustión directa, termoquímicos y bioquímicos (Energiza, 2012, p.12).

2.2. Plásticos

Los plásticos tienen la capacidad de moldearse hasta conseguir la forma deseada, estos se forman a través de compuestos de moléculas de carbono mediante enlaces covalentes conocidos como polímeros, estos se obtienen del petróleo, los plásticos han reemplazado a varios materiales

tradicionales como metales, cerámicas, y otras aplicaciones, en consecuencia, a esto el consumo de plásticos ha crecido exageradamente, lo cual provoca generación de residuos plásticos que no son tratados apropiadamente.

2.2.1. Residuos plásticos y su reciclaje

Existen varios métodos en el tratamiento del reciclado de plásticos que se dividen en: primario, secundario, terciario y cuaternario. El primario se basa en operaciones mecánicas que nos dará como resultado un producto con características similares al original. El secundario es una fusión los desechos se convierten en varias formas diferentes al original siendo un proceso evolutivo. El terciario es el llamado reciclado químico se desea tener el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por la transformación de este en HC, siendo estas materias primas integrables en la ruta de obtención de plástico o en industria petroquímica. El cuaternario es la incineración para recuperar energía (Arandes et al., 2004, p.24).

2.2.2. Tipos de plásticos

Tabla 1-2: Tipo de plásticos

Plásticos	Propiedades	Aplicaciones	Símbolo
PET	Claridad, fuerza/dureza, resistencia al calor.	Botellas plásticas de bebidas, envases para alimentos y envases farmacéuticos	
HDPE	Poco flexible, resistente a los químicos, opaco, de fácil pigmentación, fabricación y manejo.	Envases para detergentes, aceites, lácteos, shampoo y fundas.	
PVC	Versátil, fuerte y duro, resistencia a grasas, aceites y químicos.	Envase para plomería, tuberías, mangueras, suelas de zapatos, empaques de dulces.	
LDPE	Resistente a la humedad, flexible y fácil de sellar, se raya fácilmente.	Fundas para alimentos congelados, lácteos, dulces, bolsas de basura.	

PP	Medianamente flexible, parcialmente cristalino y termo resistente.	Fundas para frituras, sorbetes, tarrinas, vasos desechables y cintas de empaque.	 Polipropileno
PS	Material rígido y transparente, no polar, e impermeable al agua.	Espuma Flex, contenedores, botellas, envases de alimentos e imitaciones de cristal.	 Poliestireno
OTROS	Depende del tipo o la combinación de materiales.	Botellas de agua, partes de autos, teléfonos, artículos médicos y juguetes, etc.	 OTROS Todos los demás resinas de plástico o mezclas

Fuente: (Arfamaini, 2016).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

2.2.3. Termoplásticos

Son aquellos plásticos que tras un aporte calórico se deforman, adquieren plasticidad y abandonan el estado sólido, alcanzando un estado líquido-viscoso. Cuando el aporte calorífico termina y se enfrían a temperatura ambiente vuelven a adquirir un estado sólido y son capaces de absorber esfuerzos mecánicos (Hernández, 2017, p.51).

En este grupo tenemos a:

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Poliestireno
- Polietileno
- Polipropeno
- 1-Polibuteno

2.2.4. Poliestireno

Este tipo de plástico es altamente reciclable. Su identificación hacia fines del reciclado posee el número 6 en el símbolo que se imprime en los envases (British Plastic Federation Oil Construction, 2018). El poliestireno también se fabrica en forma de material espumoso llamado poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS), valorado por sus propiedades de aislamiento y acolchado. El poliestireno en espuma puede tener más de 95 por ciento de aire y se usa como aislante doméstico y de electrodomésticos, envase protector liviano, tablas para surf, servicio de alimentos y envasado de alimentos, repuestos automotrices, sistemas de estabilización de caminos y acotamientos y mucho más (Ocles, 2017, p.26).

2.2.5. Poliestireno residual

En cuanto al reciclaje del EPS se encuentra que su liviano peso es una ventaja para sus actuales aplicaciones, sin embargo, al final de su ciclo de vida representa una complicación del proceso, dado que transportar dicho desecho voluminoso implica mayores recursos representados en costos de transporte, elevado impacto ambiental y comprometimiento de la salud humana (Saltos, 2015, p.13).

En este sentido diversos investigadores a nivel mundial han aunado esfuerzos enfocados a la generación de alternativas, de manera que el reciclaje aproveche el producto y la disposición del material sea lo más amigable posible con el medio ambiente. Dentro de los posibles usos del material se destacan el servir como insumo para la fabricación de juguetes, elementos de oficina, madera plástica, nuevos recipientes, entre otros (García et al., 2017, p.37).

2.3. Pirólisis

Es un proceso que va a romper la estructura molecular en ciertas condiciones de temperatura y presión determinadas, con ausencia de oxígeno, esta puede dividirse en tres formas la pirólisis lenta, media y rápida, estas dependiendo de la velocidad de transferencia de calor y a su vez el tiempo de residencia del vapor de productos gaseosos. Existe una fracción líquida en este proceso que tiene propiedades similares a combustibles derivados de petróleo que a su vez pueden ser usados como materia prima, y la fracción gas puede a su vez ser usada como energía es así que la pirólisis es una nueva técnica de reciclaje químicos de residuos poliméricos, en el concepto de realizar biocombustible de una buena calidad se aplica en concepto de pirólisis lenta de larga duración, con transferencia de calor superior que es controlada y con control en sus puntos de salida al recolectar los productos que son: líquido, gas, y sólido. La pirólisis se divide en térmica que descompone materiales poliméricos con temperatura de 400-900°C y condiciones atmosféricas inertes y la catalítica en temperaturas más bajas realiza su proceso con tiempos cortos ya que existen catalizadores que ayudan en el proceso (Caleño, 2020, p.19).

2.4. Cáscara de la cebada

La cebada se considera como uno de los granos con más beneficios para la salud. Además, tiene un sabor delicioso y es muy versátil. Aunque la mayoría de las personas, al pensar en cebada piensan inmediatamente en cerveza, se puede consumir cebada en el desayuno como un cereal, en una sopa o como sustituto del arroz en un risotto. La cebada es un alimento nutricionalmente denso, bajo en calorías y no contiene tanto almidón como el trigo o el arroz. Consiste en carbohidratos complejos, proteínas y una variedad de vitaminas y minerales.

2.4.1. Tipos de cebada

En general los granos, su mayor concentración de fibra la tienen en su cáscara exterior, en el caso de la cebada se ubica en todo el grano, por eso se ubica como el grano con mayor porcentaje de fibra.

Existen dos tipos de cebada, la cebada de grano entero y la perla. La cebada contiene una cáscara exterior que no es digerible. En algunos lugares se puede encontrar la cebada sin cáscara y a la misma se la considera como de grano entero y es la más nutritiva.

La cebada perlada es común y se la encuentra en diferentes lugares, pero para llegar a ese estado tuvo que pasar por varios procesos. Para ello se elimina su cáscara y se pule el grano, para darle una apariencia brillante y tarda unos 40 minutos en ser cocinada.

2.5. Biocombustible

2.5.1. Origen de los biocombustibles

La historia de los biocombustibles se inicia a fines del siglo XIX y nace prácticamente con el uso de los hidrocarburos como fuente de energía. La idea de usar aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna se da desde el año 1895. En ese año el Diesel y Rudolf (1895, p.67) desarrolló el primer motor diésel, cuyo prototipo ya estaba previsto que funcionara con aceites vegetales, como por ejemplo el aceite de maní, que en las primeras pruebas funcionó bien. Mientras que Henry Ford (1908), hizo el primer diseño de su automóvil modelo en el año 1908, esperaba utilizar el etanol como combustible. La Standard Oil empleó a principios de los años veinte, en el área de Baltimore, 25% del etanol en gasolina, pero los elevados precios del maíz producto del que se obtenía junto con los altos costos de almacenamiento y las dificultades en el transporte, hicieron abandonar el proyecto; además el petróleo irrumpió en el mercado más barato, más eficiente y más disponible.

La primera experiencia del empleo de un biocombustible en el transporte público data del año 1938, cuando se utilizó biodiesel en la línea de ómnibus Bruselas-Lovaina en el curso de la Segunda Guerra Mundial. Los alemanes emplearon el biodiesel para mover sus flotas de guerra y los vehículos pesados en el norte de África (Salinas, 2019, p.30).

Con la crisis del petróleo que se vivió en la década de los setenta disminuyó la oferta, por lo que se disparó su precio en forma exorbitante, así como el precio de la gasolina, que se incrementó. A fines de 1979, a raíz de la crisis de los precios del petróleo, se estableció una mezcla de gasolina y etanol: los biocombustibles se volvían a presentar como una alternativa al alza de los precios del petróleo y al posible agotamiento de los recursos no renovables (Salinas, 2019, p.31).

2.5.2. Que son los Biocombustibles

Los biocombustibles son aquellos combustibles que se obtienen de biomasa, el término biomasa, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal. En la actualidad se ha aceptado este término para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se origina a partir de la materia prima orgánica formada por vía biológica. Quedan por tanto fuera de este concepto los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque también tuvieron su origen biológico en épocas remotas (Salinas, 2019, p.37).

2.5.3. Tipos de Biomasa

Tabla 2-2: Tipos de Biomasa

Tipos de biomasa	Características
Biomasa primaria	Es la materia orgánica formada directamente de los seres fotosintéticos. Este grupo comprende la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas y forestales.
Biomasa secundaria	Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. La constituyen la materia fecal o la carne de los animales
Biomasa terciaria	Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, por ejemplo, los restos y deyecciones de los animales carnívoros que se alimentan de herbívoros
Biomasa natural	Es la que producen los ecosistemas silvestres; 40% de la biomasa que se produce en la tierra proviene de los océanos
Biomasa residual	La que se puede extraer de los residuos agrícolas y forestales, y de las actividades humanas
Cultivos energéticos	Recibe esta denominación cualquier cultivo agrícola cuya finalidad sea suministrar la biomasa para producir biocombustibles

Fuente: (Salinas, 2009).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo, que sustituyen en mayor o en menor parte el uso de la gasolina en el transporte o destinados a producir electricidad. Los biocomponentes actuales proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. El empleo de estos biocombustibles tiene como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático (Salinas, 2019, p.39).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de estudio

El presente proyecto fue realizado en los Laboratorios de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de la ciudad de Riobamba, siendo sus límites al Norte: Cdra. 24 de mayo y Avenida Canónigo Ramos, al Sur: Avenida Pedro Vicente Maldonado y Cdra. de los Maestros, al Este: Avenida 11 de noviembre y al Oeste: Avenida By Pass.



Figura 1-3: Localización del laboratorio de la ESPOCH

Realizado por: (Castillo P, 2022).

3.2. Método de muestreo

Es un muestreo no probabilístico criterial que se planteó, ya que no responde a fórmulas específicas sino al criterio del experimentador, donde se plantea los porcentajes a trabajar y se fue analizando cuál es la mejor viabilidad para llegar al resultado final.

3.3. Técnicas de recolección de datos

- El presente proyecto será realizado por un reactor de pirólisis que al ingresar las masas y en la temperatura estimada que deseamos llegar durante un determinado tiempo, se obtiene los datos deseados en el equipo automáticamente obteniendo al final los porcentajes finales de la

fracción líquida, sólida y gaseosa de las muestras.

- Al finalizar el tiempo de espera se tomará la muestra líquida en una botella y se procederá a pesar, luego se tomará el residuo que quedó dentro del reactor y mediante un cálculo procedemos a sacar los porcentajes de la fracción líquida, sólida y gaseosa.
- Los resultados posteriormente serán analizados por cromatografía GC/MS, viscosidad, densidad, punto de inflamación, poder calórico, destilación fraccionada, análisis de FTIR para ver su composición final.

3.3.1. Recolección de las muestras

- **Recolección de la cáscara de la cebada**

La cáscara de la cebada fue recogida de las distintas bodegas de los molinos donde realizan procesos de pelado de granos, ubicados alrededor del mercado San Alfonso de la ciudad de Riobamba.



Figura 2-3: Cáscara de cebada

Realizado por: (Castillo P, 2022).

- **Recolección de los residuos plásticos**

Los residuos plásticos para utilizar fueron obtenidos a partir de residuos sólidos plásticos urbanos, los mismos que fueron triturados y lavados en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Figura 3-3: Poliestireno

Realizado por: (Castillo P, 2022).

3.3.2. Población de estudio

Se obtendrá la cáscara de cebada de los mercados de la ciudad de Riobamba y el poliestireno residual fue obtenido de la recolección de los residuos plásticos urbanos y procesados en el laboratorio de la Institución.

3.3.2.1. Tamaño de la muestra

Procederemos a la pre experimentación con diferentes pesos de biomasa y plástico los cuales son:

Composición de mezcla 1: 0,5 kg Biomasa+ 0,5kg Poliestireno x 5 horas

Composición de mezcla 2: 0,25 kg Biomasa+0,25kg Poliestireno x 6 horas

Composición de mezcla 3: 0,125kg Biomasa+0,375kg Poliestireno x 5 horas

Composición de mezcla 4: 0,125kg Biomasa+0,375kg Poliestireno x 6 horas

Composición de mezcla 5: 0,375kg Biomasa+0,125kg Poliestireno x 6 horas

Composición de mezcla 6: 0,375kgBiomasa+0,125kg Poliestireno x 5 horas

Composición de mezcla 7: 0,375%Biomasa+1,125kg Poliestireno x 5 horas

3.4. Tipo de Investigación

Este proyecto según el método de investigación es cuantitativo, según el nivel de profundización del objetivo es explicativa, según la manipulación de variables es pre experimental.

3.5. Variables de estudio

3.5.1. Identificaciones variables

- Variables dependientes: porcentajes de masa, rendimiento de líquido.
- Variables independientes: Temperatura.
- Variables intervinientes: Presión.

3.5.2. Planteamiento de la hipótesis

3.5.2.1. Hipótesis General

La pirólisis de residuos de cáscara de cebada con poliestireno residual permitirá obtener biocombustible líquido.

3.5.2.2. Hipótesis específicas

- La caracterización de la biomasa nos dará los componentes específicos para generar un buen combustible líquido.
- La temperatura óptima nos dará combustible líquido de buena calidad.
- Los parámetros del producto obtenido tendrán la composición ideal de un biocombustible.

3.6. Procedimientos

3.6.1. Uso del reactor de pirólisis

Materiales:

- Reactor de pirólisis
- Muestras de cebada
- Muestra de poliestireno
- Balanzas
- Recipientes para muestras.

El reactor de pirólisis ayuda a procesar las muestras de biomasa y poliestireno, en él se ingresan las muestras de peso en gramos tanto de cáscara de cebada como el poliestireno, el equipo cuenta de tres partes que son el reactor, la chaqueta, y gases, todo esto controlado por un equipo electrónico el cuál esta enlazado por tres termocuplas las cuales lanzaran automáticamente los

valores de temperatura de cada uno de ellos.



Figura 4-3: Reactor de Pirólisis

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Desde aquí se controla durante todo el proceso las diversas temperaturas hasta llegar a la temperatura la cual fue programada en el equipo previamente, se controla la velocidad del motor rotatorio que ayude a que la mezcla sea simultánea, posterior a ello se controla las tres temperaturas que reflejan en el equipo, en un primer recuadro indicara el valor de la temperatura donde se desea llegar, en el segundo se tendrá el valor de chaqueta y en el tercero el valor de los gases, teniendo en cuenta que durante el tiempo establecido se debe revisar que no suba la presión del reactor, y de suceder esto se debe prender una bomba que ayude a que la presión que vuelva a ser constante, al finalizar el tiempo estimado y con la temperatura deseada se procede a tomar la muestra del hidrocarburo del reactor en un recipiente, abriendo lentamente la llave. Para usar el reactor previamente se debe pesar en una balanza los gramos de cáscara de cebada, los gramos de poliestireno residual e introducirlos en el reactor a la vez formar una mezcla homogénea

- Una vez obtenidos los productos se procedió a pesar y a obtener el rendimiento líquido o eficiencia para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$n \text{ líquido} = \frac{\text{Peso del producto líquido}}{\text{Peso de la mezcla de biomasa y residuos plásticos}} \times 100 \quad \text{Ec. 1-3}$$

- Después de obtener el rendimiento líquido, se realizó una limpieza del equipo pirolítico y se recolectó el producto sólido el cual se pesó y se obtuvo su rendimiento aplicando la siguiente ecuación:

$$n \text{ sólido} = \frac{\text{Peso del producto sólido}}{\text{Peso de la mezcla de biomasa y residuos plásticos}} \times 100 \quad \text{Ec. 2-3}$$

- Una vez obtenidos los resultados de los pesos y rendimientos de los productos líquidos y los

productos sólidos se obtuvo el rendimiento de los productos gaseosos por medio de la siguiente ecuación:

$$n_{gas} = \frac{\text{Peso del producto líquido} - \text{Peso del producto sólido}}{\text{Peso de la mezcla de biomasa y residuos plásticos}} \times 100 \quad \text{Ec. 3-3}$$

3.6.2. Densidad

Densidad Relativa por el método del Picnómetro:

Materiales

- Picnómetros
- Balanza analítica
- Guantes de nitrilo
- Franelas

Para esta prueba se dispuso de picnómetros los cuáles ayudaron a medir el hidrocarburo, para su uso deben estar limpios y secos, al dar inicio se pesaron los picnómetros en la balanza analítica anotando el peso de cada uno, luego de realizar el peso, con guantes de nitrilo se colocó el hidrocarburo en el picnómetro hasta el ras del mismo, para posterior taparlo.

Esta muestra debe rebosar de la tapa lo que indica que tiene el peso exacto de 10ml, se debe secar bien, y llevarlo a la balanza analítica para anotar su peso antes de que el hidrocarburo volatilice y nos muestre un dato erróneo en su resultado, después de tener el dato exacto, se procede a efectuar la limpieza de los picnómetros para realizar el mismo procedimiento con las 6 muestras restantes.

Cálculos para la densidad absoluta:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. 4-3}$$

En donde:

ρ : densidad

m : es la diferencia de la masa final con la masa inicial

v : volumen del picnómetro (10mL)

La densidad relativa es el resultado entre la densidad absoluta de la muestra y la densidad del agua a 4°C, pero la escala más comúnmente utilizada es la gravedad API a 15°C. Este parámetro determina la calidad del combustible a partir de la norma ASTM-1298 (Drews, 2017, pp.1-4) para su cálculo se requiere una de fórmulas que se muestran a continuación:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{GE} - 131,5 \quad \text{Ec. 5-3}$$

En donde:

GE: Gravedad específica o densidad relativa

$$GE = \frac{\rho_{\text{absoluta}}}{\rho_{\text{H2O a } 20^{\circ}\text{C}}} \quad \text{Ec. 6-3}$$

3.6.3. Densidad API

Materiales

- Hidrómetros
- Termómetro
- Probeta de 200ml
- Franelas
- Toallas absorbentes
- Guantes de nitrilo

Para la densidad API se utilizó hidrómetros que nos ayudaron a determinar la densidad, cada picnómetro indica el rango de grados API y su rango de temperatura, para ello solo se aplicó a dos de las muestras que tienen mayor volumen.

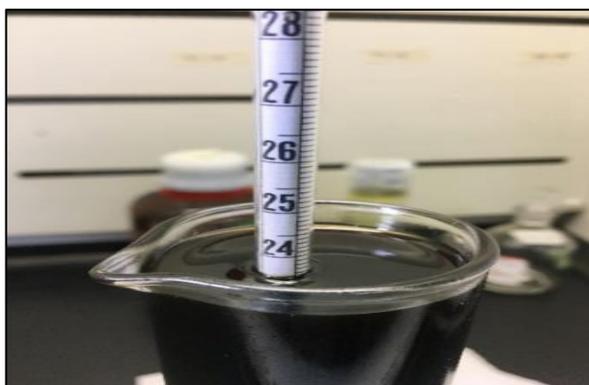


Figura 5-3: Densidad API

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Se trasvasa la primera muestra en la probeta despreciando el volumen y se toma el hidrómetro introduciendo el bulbo cuidadosamente, se mide la temperatura del hidrocarburo, se debe trabajar a temperatura ambiente $T=20^{\circ}\text{C}$, hay que estar pendiente de la escala a la que llega el hidrómetro al ser introducido tiene que flotar dentro de la escala de medida especificada en el mismo, y al

obtener el grado API se compara con bibliografía si es un hidrocarburo pesado o ligero, al tener la medida, se anotó y luego la muestra se devolvió a su recipiente sellando antes que el contenido empiece a volatilizarse, se procedió a limpiar y a realizar el mismo procedimiento para la segunda muestra, en los dos casos se ocupó el mismo hidrómetro que va de un rango de 19-31 grados API.

3.6.4. Viscosidad

Materiales

- Viscosímetro de tubo capilar 3B
- Termómetro
- Propipeteador
- Cronometro
- Recipiente metálico para líquidos
- Probetas
- Vaso de precipitación
- Guantes de nitrilo
- Toallas absorbentes
- Franelas

Para esta prueba se estableció una temperatura ambiente de 25°C en baño maría se llevó cada una de las muestras hacia esa temperatura.



Figura 6-3: Viscosidad

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Con un viscosímetro de tubo capilar ingresamos la muestra hacia el baño maría para poder llegar a la temperatura ambiente deseada, conectamos un propipeteador en la zona del capilar del tubo

donde están los puntos de referencia 1-2, su función es que suba el fluido y sobrepase el bulbo, para evitar que la muestra pase con oxígeno y suba muy rápido, se debe tapar la entrada del capilar más delgado con la ayuda del dedo pulgar y dejar que la muestra fluya punto 1 al punto 2, obteniendo 3 tiempos similares con la ayuda un cronometro, al ser un fluido no muy viscoso su tiempo será en milisegundos para lo cual cada prueba se repetirá tres veces para cada una de las ellas.

Mediante la norma ASTM 445 se determinó la viscosidad cinemática con las siguientes ecuaciones:

$$\eta = \rho v \quad \text{Ec. 7-3}$$

En donde:

η : viscosidad absoluta, su resultado en (Kg/ms)

ρ : densidad, su resultado en (Kg/m³)

v : viscosidad cinemática, su resultado en cSt (mm² /s)

$$v = Ct \quad \text{Ec. 8-3}$$

En donde:

C : constante de calibración del viscosímetro, su resultado en (mm² /s) /s

t : tiempo de fluidez, su resultado en (s)

3.6.5. Punto de inflamación

Materiales

- Equipo Flash Point
- Termómetro
- Gas Licuado de Petróleo
- Recipiente para líquidos
- Hielo
- Vaso de precipitación
- Embudo
- Franelas
- Toallas absorbentes

El equipo a utilizar fue un Flash Point que permitió determinar la temperatura de ignición o de inflamación de la muestra, con un termómetro previamente observamos la temperatura de cada

una de las muestras y estas indicaron valores superiores a los 20°C significado de que son muy volátiles, para esto se bajó la temperatura de las muestras a 15°C colocadas en recipiente con hielo y posterior se colocó todas las muestras.

El equipo se debe conectar al toma corriente y posteriormente instalar el gas (GLP), este equipo consta de un motor y una válvula que genera la llama más o menos de medio centímetro para determinar la temperatura en contacto con los gases que desprende la muestra, hay un control de temperatura, se recomienda empezar leve para ir subiendo la temperatura de poco a poco, y se va midiendo en el termómetro que está conectado al equipo, se debe anotar la temperatura inicial que es de 15°C.



Figura 7-3: Flash Point

Realizado por: (Castillo P, 2022).

El equipo consta de un recipiente de $v=100\text{ml}$ donde ira la muestra, luego colocamos el recipiente dentro del equipo, cerrándolo antes que la muestra volatilice, se coloca el termómetro con la zona graduada de frente a nosotros, y se enciende la llama con la ayuda de una fosforera abriéndola poco a poco, este equipo cumplirá la función de que la llama entre en contacto con los gases que se desprende formando una llama que es la temperatura de ignición, durante el proceso se enciende un agitador para homogenizar la muestra y a la vez se ventile en el interior y expulse los gases a al exterior, la llama se debe ingresar al recipiente cada vez que el termómetro suba 1°C, este proceso se realizará hasta que exista combustión de la muestra, posteriormente se anota los valores de los grados a los cuales llego en el termómetro, y se procede a desinstalar el equipo para retirar la muestra, guardarla, y previo a una limpieza del mismo realizar el mismo proceso en las demás muestras.

3.6.6. Destilación Fragmentada

Materiales

- Equipo de destilación
- Balón de aforo de 150ml
- Termómetro
- Probetas de 100
- Vaso de precipitación
- Embudo
- Hielo
- Sal
- Plastilina
- Parafilm
- Recipientes de muestras medianos
- Espátula
- Extintor
- Toallas absorbentes
- Guantes de nitrilo

En esta prueba se trasvasó del recipiente con la muestra al balón, y posterior se introdujo el termómetro por la parte superior y sellándolo con plastilina y Parafilm, se introdujo el balón en el equipo destilador y se fijó a una distancia cercana a la resistencia del mismo, al estar bien asegurado, se colocó hielo en recipiente posterior del equipo.



Figura 8-3: Destilación Fragmentada

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Se enciende el equipo y mediante una perilla se regula la temperatura, dependiendo de los rangos

a lo que se desean llegar con la destilación fraccionada el proceso irá del rango más bajo al más alto las muestras serán destiladas en base a temperaturas previamente consultadas en bibliografía y tendremos como resultados de rangos de combustibles como: butanos y material ligero, nafta ligera, nafta pesada, keroseno, diésel, el equipo incremento la temperatura al valor marcado y se deberá mantener en ese rango hasta que el equipo termine de destilar cada una las fracciones, el líquido destilado empieza a fluir a una probeta instalada, para retirar la muestra destilada se baja la temperatura del equipo a 0 y se trasvasa esa muestra en un frasco anotando su volumen y tipo, se vuelve a conectar la probeta y ahora se sube la temperatura hasta el siguiente rango, la muestra será destilada hasta el rango que se pueda dar en ella, y luego de etiquetar todas las muestras, se procedió a realizar los mismos pasos para las otras muestras restantes, al final de cada uno de los procesos se procede a limpiar para destilar las muestras restantes.

3.7. FTIR

Materiales

- Equipo espectrofotómetro de infrarrojo jeringa
- Mortero
- Franelas
- Algodón

Esta prueba se realizó a través de un equipo espectrofotómetro de infrarrojo el cuál a través de su celda infrarroja, se coloca una pequeña muestra líquida, se cierra y prende el equipo, este a la vez está conectado a un software a la computadora genera los valores en formato .xls donde muestra los picos a los que llego cada una de las muestras mediante gráficas. Para las muestras líquidas basta con extraer una pequeña cantidad, poner la gota y el resto devolver al frasco, en las muestras sólidas es el mismo procedimiento, pero debe ser muy granulado para lo cual se trituraron en un mortero hasta obtener partículas más pequeñas.



Figura 9-3: FTIR

Realizado por: (Castillo P, 2022).

D86 y corregida a presión barométrica estándar

3.7.3. Análisis cromatográfico GC-MS

Este análisis cromatográfico hace referencia a la asociación de dos técnicas, GC (cromatografía de gases) y MS (espectrometría de masas) dando lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas. La utilización de la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas requiere sistemas particulares de conexión. En teoría, se trata de dos técnicas que trabajan en fase gaseosa y necesitan una muy pequeña cantidad de muestra para realizar su análisis, por lo que son muy acordes (Gutiérrez y Droguet 2002, p.37).

En definitiva, en este proceso una mezcla de compuestos es inyectada en el cromatógrafo de gases y es separada en la columna cromatográfica obteniendo la elución sucesiva de los compuestos individuales aislados que pasan inmediatamente al espectrómetro de masas. Así, cada uno de estos compuestos se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas (Gutiérrez y Droguet 2002, p.37). Una vez identificados se registran en una medida de hidrocarburos de C₄ a C₄₀ para determinar sus diferentes fracciones.

3.7.4. Análisis estadístico

Se entiende como análisis estadístico a la división de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios. Por ende, consiste en un análisis que emplea métodos estadísticos para interpretar datos, ya sea para asistir en la toma de decisiones o para explicar los condicionantes que determinan lo que ocurre en algún fenómeno.

Para finalidad de la investigación, el análisis estadístico se ejecutó con el objetivo de analizar el efecto y la relación entre las variables como la temperatura de pirólisis y los rendimientos de las fracciones líquidas. Y así se determinó la temperatura óptima a la cual la fracción líquida muestra sus características más relevantes.

Para el análisis estadístico y basado en la relación entre las variables de temperatura y composición de la mezcla con el rendimiento de los biocombustibles, se determinó al Análisis de Varianza ANOVA de un solo factor como el mejor método estadístico para la investigación.

3.7.4.1. Anova

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece

que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente (Abraira, 2016, p.72).

Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los análisis ANOVA requieren datos de poblaciones que sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Sin embargo, los procedimientos de ANOVA funcionan bastante bien incluso cuando se viola el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas o si las varianzas son bastante diferentes. Las transformaciones del conjunto de datos original pueden corregir estas violaciones (Abraira, 2016, p.56).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de los rendimientos de los productos de pirólisis

Se trabajó con 1 temperatura y 7 diferentes composiciones entre volúmenes de masa obteniendo los rendimientos de líquido, sólido y gas respectivamente.

- Temperatura: 400°C
- Composición de mezcla 1: 50%Biomasa+50%Poliestireno.
- Composición de mezcla 2: 50%Biomasa+50% Poliestireno.
- Composición de mezcla 3: 25%Biomasa+75% Poliestireno.
- Composición de mezcla 4: 25%Biomasa+75% Poliestireno.
- Composición de mezcla 5: 75%Biomasa+25% Poliestireno.
- Composición de mezcla 6: 75%Biomasa+25% Poliestireno.
- Composición de mezcla 7: 25%Biomasa+75% Poliestireno.

- **Rendimientos:**

Tabla 1-4: Peso en gramos de los resultados obtenidos en el proceso de pirólisis

Productos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
Líquido	478	190	233	308	121	141	1007
Sólido	368	222	139	134	290	241	327
Gaseoso	154	88	128	58	89	118	166

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Tabla 2-4: Rendimientos en porcentaje (%) de los resultados obtenidos en la pirólisis

Productos (%)	50/50		25/75		75/25	
Líquido	M1	47,8	M3	46,6	M5	24,2
	M2	38	M4	61,6	M6	28,2
			M7	67,13		
sólido	M1	36,8	M3	27,8	M5	58
	M2	44,4	M4	26,8	M6	48,2
			M7	21,8		
gaseoso	M1	15,4	M3	25,6	M5	17,8
	M2	17,6	M4	11,6	M6	23,6
			M7	11,07		

Realizado por: (Castillo P, 2022).

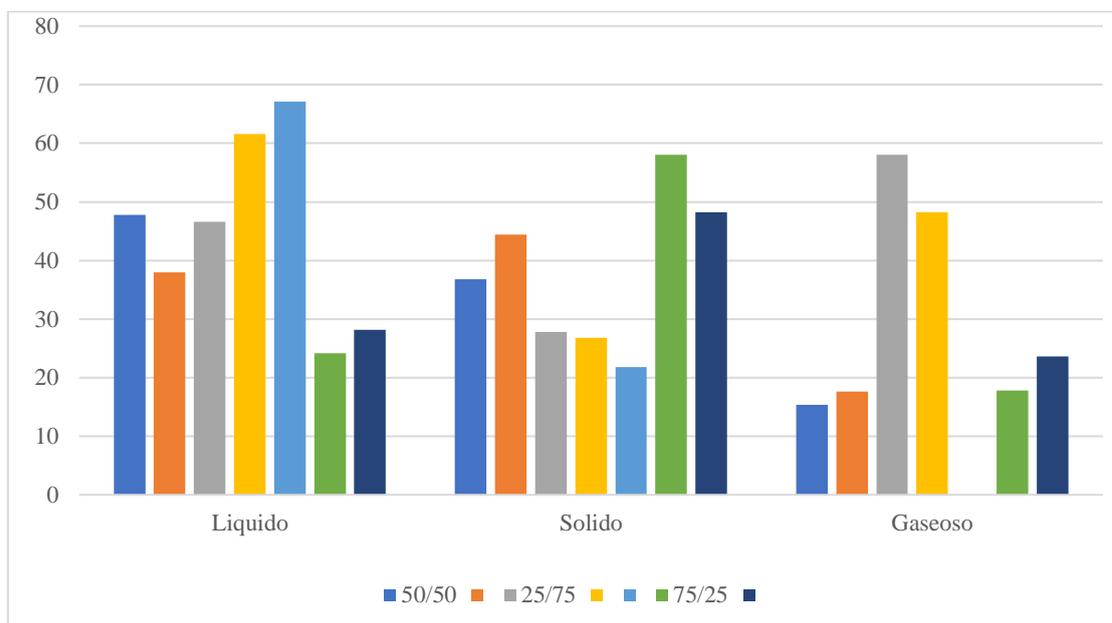


Gráfico 1-4: Rendimiento de los productos obtenidos de la pirólisis

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Al tener los resultados de los rendimientos de cada una de las 7 pruebas realizadas en el proceso de pirólisis como se muestra en la Tabla 2-4 se puede determinar que la temperatura de 400°C y en conjunto con las mezclas de biomasa (cáscara de cebada) y residuos plásticos (poliestireno) fueron óptimas para la obtención de combustibles líquidos en dos pruebas teniendo rendimientos que superan el 50%, de manera particular el mayor rendimiento se observa en la prueba número 7 superando el 60% en una proporción de biomasa del 25% y poliestireno un porcentaje del 75%.

4.1.1. Resultados de la densidad relativa y densidad API

Tabla 3-4: Resultados de la densidad

Muestra	Densidad, Kg/m ³
Prueba 1	973,94
Prueba 2	926,16
Prueba 3	922,97
Prueba 4	989,84
Prueba 5	924,65
Prueba 6	983,71
Prueba 7	927,51

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Tabla 4-4: Densidad y grados API

Muestra	Gravedad Especifica	Gravedad API
Prueba 1	0,913	23,5
Prueba 2	0,921	22,2

Realizado por: (Castillo P, 2022).

De acuerdo a (Orejuela Parra 2010, pp.38-40) la gravedad API y la densidad clasifica a los combustibles de la siguiente forma:

Tabla 5-4: Clasificación de los combustibles según su gravedad API y su densidad

Tipo de crudo	Gravedad API	Densidad (Kg/m ³)
Liviano	>31,1	< 870
Mediano	De 22,3 - 31,1	920 - 870
Pesado	De 10 - 22,3	1000 – 920
Extra pesado	>10	> 1000

Fuente: (Orejuela Parra, 2010).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Guiándonos en la Tabla 5-4 se establece que los resultados expuestos en la Tabla 3-4 y Tabla 4-4: nos revelan que los datos obtenidos de las pruebas número 1 y prueba numero 7 son hidrocarburos mediano y pesado respectivamente, teniendo una concentración media y alta de hidrocarburos de bajo peso molecular y que reflejan ser aptos para la elaboración de combustibles de motor a diésel (Standard Oil Company 2013, p.33).

4.1.2. Resultados de viscosidad

Tabla 6-4: Resultados de viscosidad cinemática

Muestra	Viscosidad, cSt
Prueba 1	2,065
Prueba 2	2,835
Prueba 3	2,115
Prueba 4	2,165
Prueba 5	2,76
Prueba 6	3,105
Prueba 7	2,66

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los valores resultantes de la Tabla 6-4 nos indica que la viscosidad de los biocombustibles obtenidos es baja, estos resultados a la vez están dentro de los estándares internacionales de combustibles para transporte como el diésel ya que de acuerdo con Recope (2011, p.17), el rango esta entre 1,9 y 4,1 mm^2/s , al mismo tiempo, de que esta peculiaridad nos revela un incremento de las fracciones de parafinas.

4.1.3. Punto de Inflamación

Tabla 7-4: Resultados punto de inflamación

Muestra	Punto de Inflamación, °C
Prueba 1	22
Prueba 2	25
Prueba 3	24
Prueba 4	25
Prueba 5	23
Prueba 6	24
Prueba 7	26

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los valores resultantes del punto de inflamación de las muestras se localizan en un rango de 22 a 26°C siendo temperaturas cercanas a las de ambiente, esto de acuerdo SURA (2010, p.1), y establecido en la NFPA (National Fire Protection Association) son productos líquidos inflamables al poseer un punto de inflamación debajo de los 37,8 °C.

4.1.4. Resultados de destilación del biocombustible

Tabla 8-4: Curva de destilación

Volumen	Temperatura
0	15
5	35
10	55
20	65
30	75
40	80
50	95
60	125
70	160
80	200
90	250

Realizado por: (Castillo P, 2022).

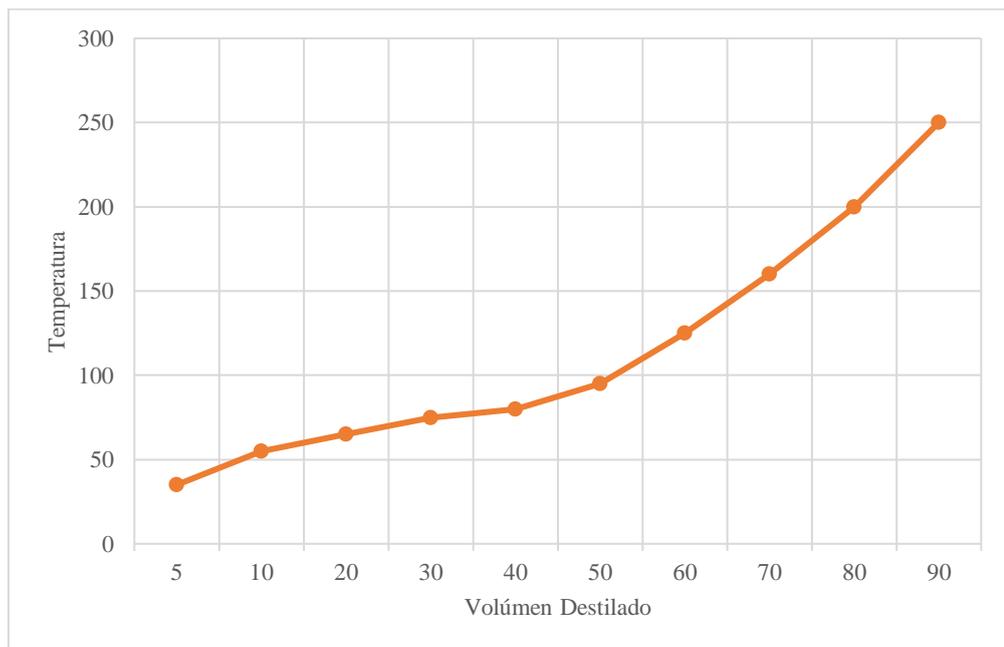


Gráfico 2-4: Curva de destilación

Realizado por: (Castillo P, 2022).

La curva de destilación expuesta en el Gráfico 2-4 se realizó de acuerdo a los resultados obtenidos de cada una de las fracciones destiladas en el equipo de destilación de las muestras totales, a la vez también los datos de las temperaturas a las cuáles se destilaron cada una de las fracciones de las muestras líquidas, obteniendo así la curva de destilación de las muestras procesas y comparando con bibliografía las curva es similar a los rangos establecidos para butanos y ligeros, nafta ligera, naftas pesadas, querosene y diésel.

4.1.5. Índice de Cetano Calculado

Tabla 9-4: Resultados del índice de cetano calculado

Muestra	ICC
Prueba 1	36,1
Prueba 2	20,8
Prueba 3	20,22
Prueba 4	38,01
Prueba 5	27,7
Prueba 6	30,19
Prueba 7	21,17

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los resultados expuestos de la Tabla 9-4 nos reflejan que el índice de cetano ICC para cada una de las muestras de hidrocarburo analizadas tienen valores bajos de acuerdo a Recope (2011, p.15), nos muestra que el rango de índice de cetano calculado de combustibles esta entre 45,5 a 48. Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013, p.2), se debe a que las muestras tuvieron un etapa final de destilación por debajo de los 260°C, por otra parte Aguilar (2003, p.14), indica que el contenido de alcoholes y compuestos aromáticos tienden a un índice de cetano bajo, lo que es trascendental puesto que los productos obtenidos contienen cierto porcentaje de dichos compuestos en su estructura como reflejan los análisis del espectrofotómetro de infrarrojo y el análisis cromatográfico GC-MS.

4.1.6. Resultados de los análisis FT-IR

4.1.6.1. Análisis FT-IR de los productos sólidos obtenidos de la pirólisis

Las muestras sólidas de cada una de las pruebas de pirólisis realizadas fueron analizadas a través del equipo espectrofotómetro de infrarrojo, y los resultados fueron los siguientes:

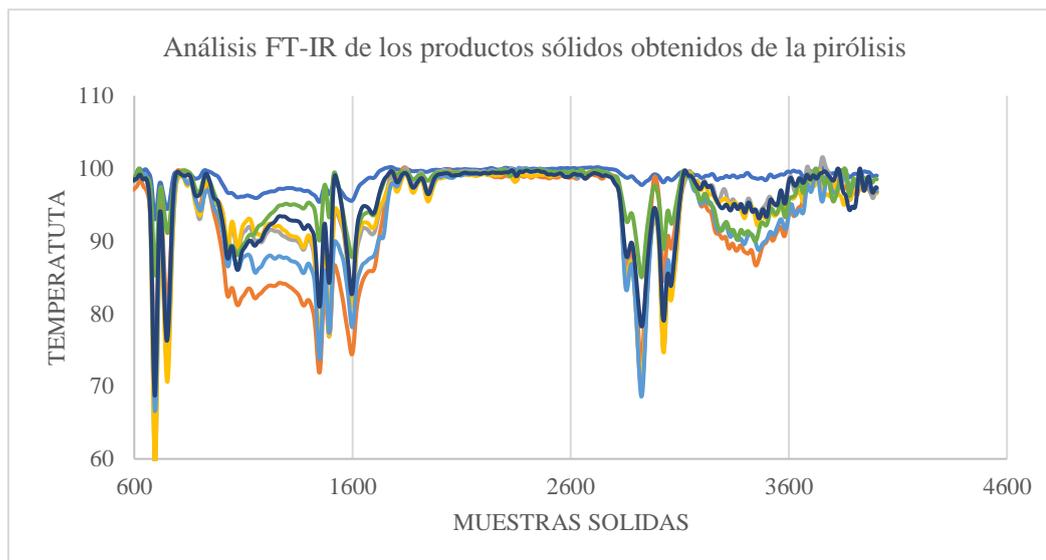


Gráfico 3-4: Espectro IR de los residuos sólidos obtenidos de las muestras 1 a la 7

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los análisis FT-IR de las muestras sólidas expuestas en el Gráfico 3-4 al efectuar una comparación entre las 7 muestras se establece que poseen picos idénticos. En el número de onda entre $3494.38 - 3270.68 \text{ cm}^{-1}$ se puede encontrar una vibración de tensión O-H este tipo de comportamiento corresponde a Alcohol, Fenol; entre el número de onda $2923.56 - 2927.41 \text{ cm}^{-1}$ una vibración de flexión C-H este tipo de comportamiento corresponde a Alcohol Alcanos, entre el número de onda $1600.63 - 1592.91 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra una vibración de tensión N-H este tipo de comportamiento corresponde a Aminas primarias, entre el número de onda $1492.63 - 1446.35 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra una vibración de tensión C-C este tipo de comportamiento corresponde a Aromáticos, entre el número de onda $898.666 - 894.809 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra una vibración de tensión N-H este tipo de comportamiento corresponde a Amina primaria secundaria, entre el número de onda $752.102 - 748.245 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra una vibración de tensión C-Cl este tipo de comportamiento corresponde a Haluros de Alquilo, entre el número de onda $698.105 - 694.248 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra una vibración de tensión -C (triple enlace)C este tipo de comportamiento corresponde a Alquilos.

4.1.6.2. Análisis FT-IR de los productos líquidos obtenidos de la pirólisis

Para el análisis en el equipo espectrofotómetro de infrarrojo se tomó muestras significativas de cada fracción líquida del proceso de pirólisis, generando los siguientes resultados:

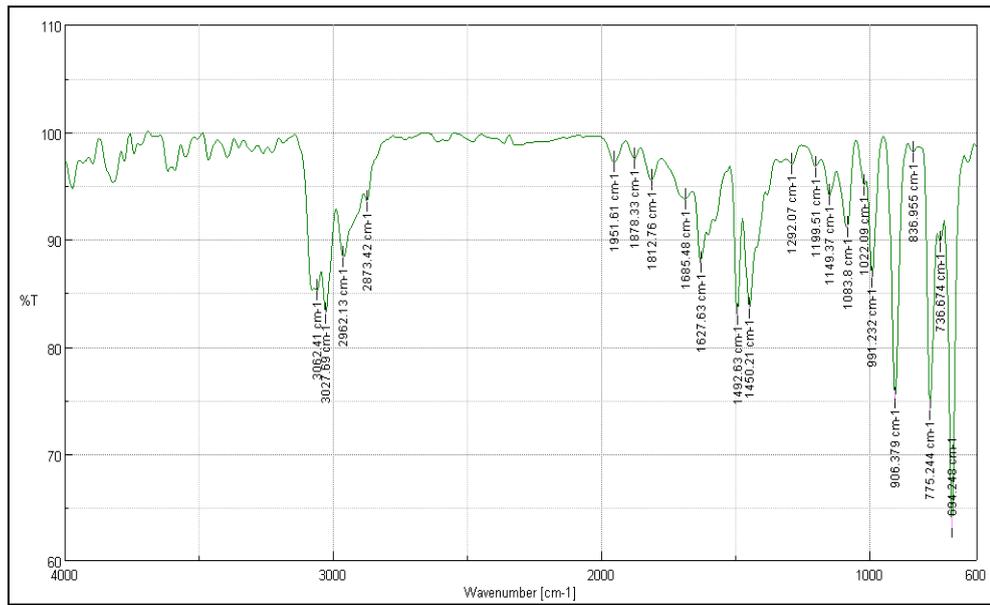


Gráfico 4-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 1

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

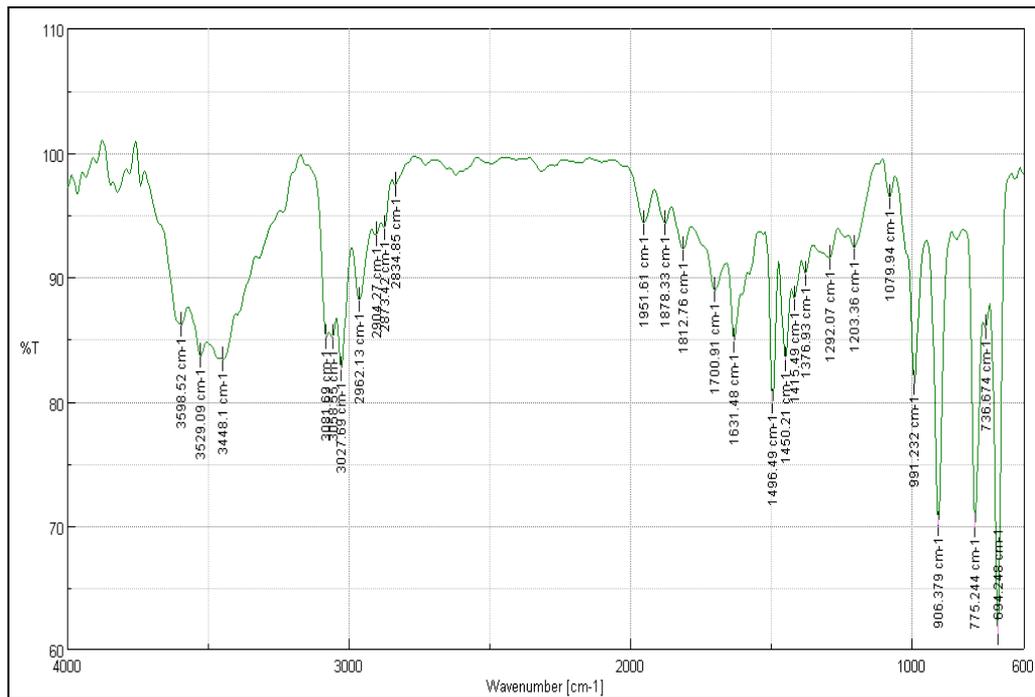


Gráfico 5-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 2

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

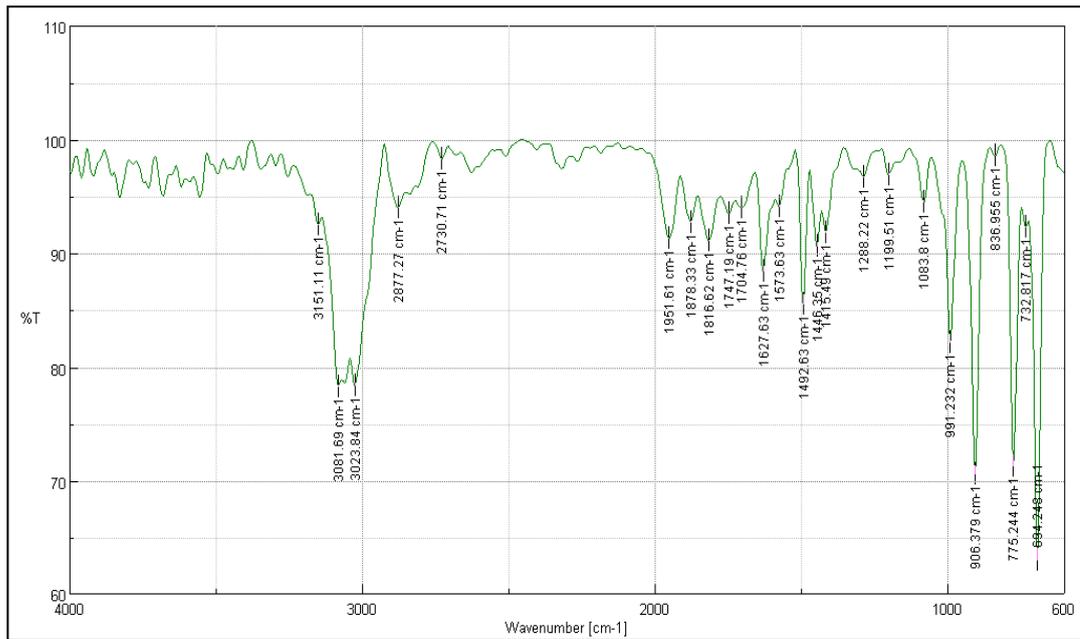


Gráfico 6-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 3

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

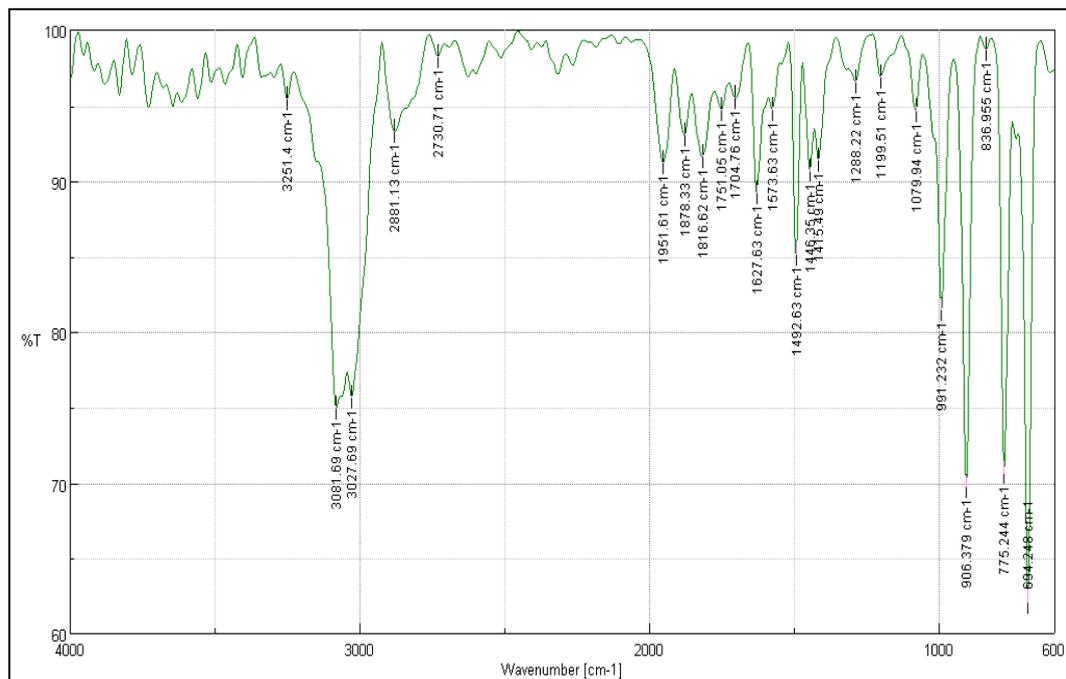


Gráfico 7-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 4

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

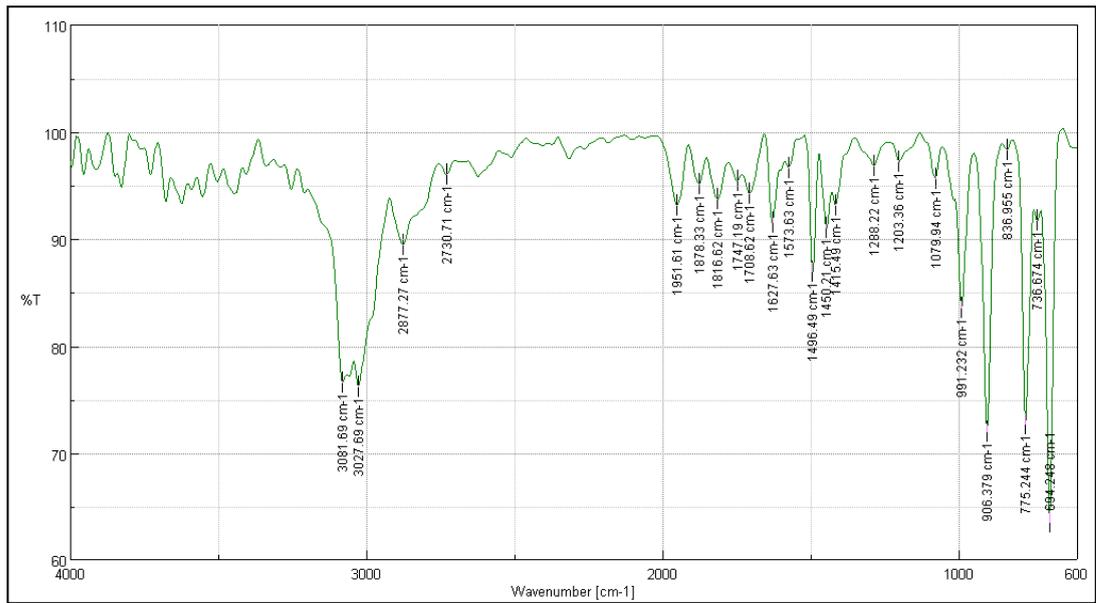


Gráfico 8-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 5

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

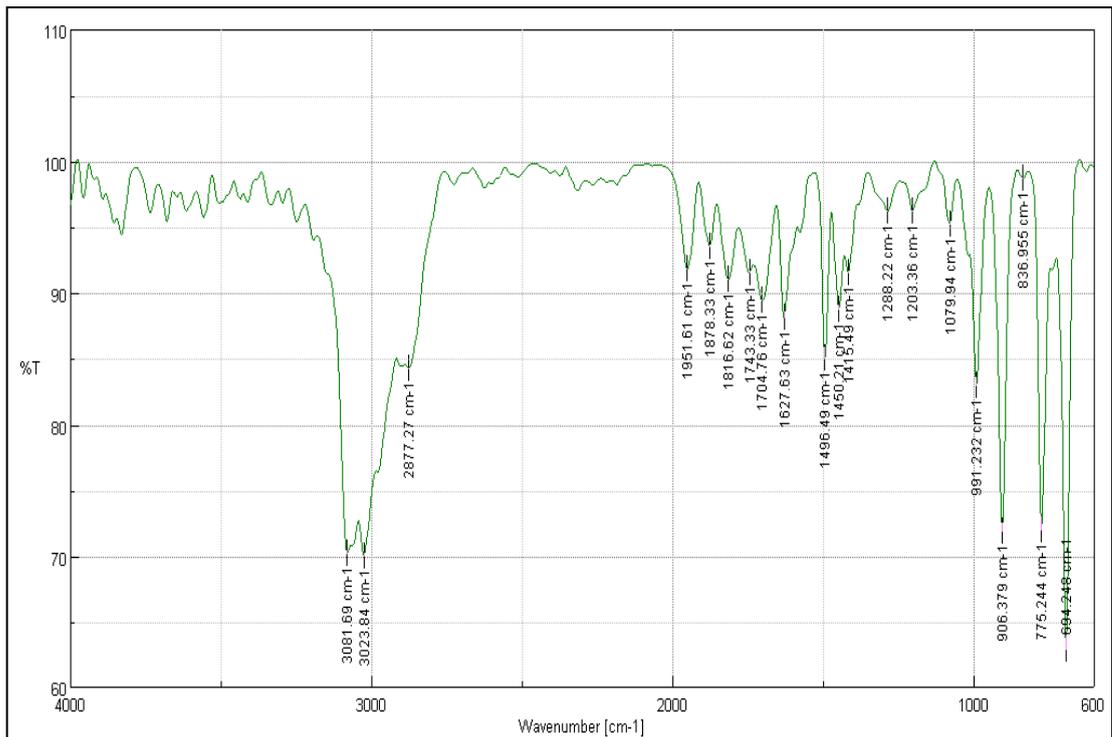


Gráfico 9-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 6

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

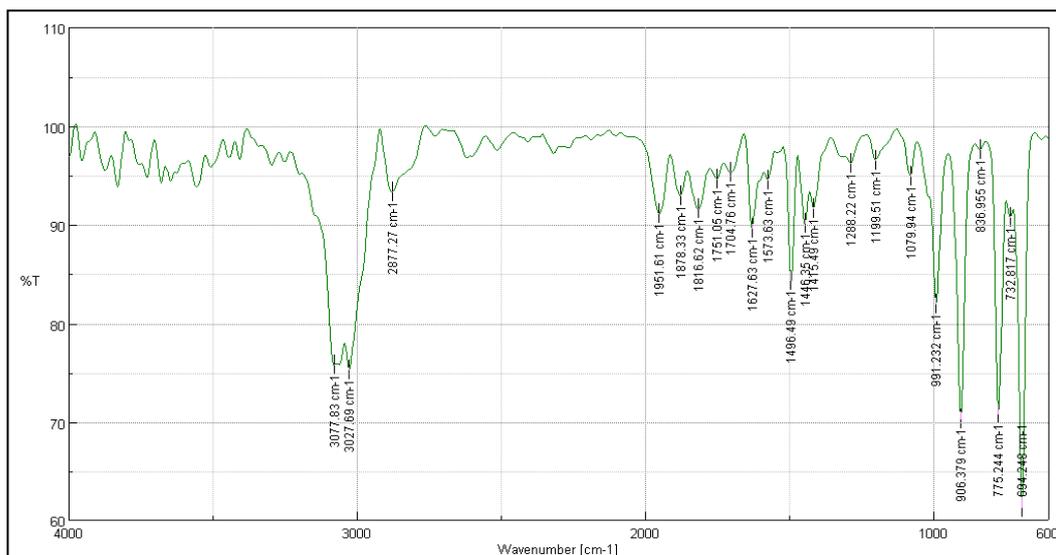


Gráfico 10-4: Espectro IR de los residuos líquidos obtenidos de la muestra 7

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental ESPOCH, 2021).

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Tabla 10-4: Compuestos del diésel comercial

Rango espectral	Nombre de compuestos	Tipo de hidrocarburo
2953,45	Etano	Alcano
2921,63	Butano	Alcano
2853,17	Ciclohexano o Butano	Alcano
1457,92	Ciclohexano, Isobutano	Alcano
1376,93	Propano	Alcano
1156,12	Ciclohexano, Propano	Alcano
1031,73	Eteno	Alqueno
965,198	Butano, Bromoetano	Alcano
806,099	Etano	Alcano
766,566	Eteno	Alcano
722,211	2-Butino	Alquino
698,105	Eteno	Alqueno

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Tabla 11-4: Análisis comparativo del espectro IR Diesel Comercial vs Muestras

Espectro IR Diesel Comercial	Espectro IR promedio de las muestras
2953,45	2950,5544
2921,63	2919,699
2853,17	2854,1311
1457,92	1454,0641
1376,93	1376,9254
1156,12	1153,2233
1031,73	1029,8014

965,198	964,2335
806,099	806,0992
766,566	763,6729
722,211	721,2466
698,105	694,2481

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Los biocombustibles analizados por FT-IR mostrados en el Gráfico 4-4, Gráfico 5-4, Gráfico 6-4, Gráfico 7-4, Gráfico 8-4, Gráfico 9-4, Gráfico 10-4, presentan picos con número de onda similar evidenciando la presencia de grupos funcionales semejantes.

En la tabla 11-4 se realiza una comparación de los biocombustibles obtenidos conjuntamente con los datos del diésel comercial expuestos en la tabla 10-4, se presentan los siguientes picos de $2950,5544\text{ cm}^{-1}$, $2919,699\text{ cm}^{-1}$ y $2854,1311\text{ cm}^{-1}$ con vibración de tensión C-H de alcanos, los picos de $1454,0641\text{ cm}^{-1}$, con vibración de tensión N-H/C-C de Alcanos/Aromáticos; $1376,9254\text{ cm}^{-1}$, $1153,2233\text{ cm}^{-1}$ con vibración de tensión C-H de alcanos y $1029,8014\text{ cm}^{-1}$ con vibración de tensión C-H(-CH₂X) Haluro de Alquilo, los picos de $964,2335\text{ cm}^{-1}$ con vibración de tensión =C-H Amina primaria, secundaria, los picos de $806,0992\text{ cm}^{-1}$, $763,6729\text{ cm}^{-1}$ con vibración de tensión C-Cl Haluros de alquilo, con vibración de tensión C-Cl Haluros de alquilo, $721,2466\text{ cm}^{-1}$ y $694,2481\text{ cm}^{-1}$ con una vibración de tensión =C-H de alqueno que solo se muestran en los biocombustibles.

El diésel comercial presenta únicamente grupos alcanos y compuestos aromáticos, a diferencia de los biocombustibles que poseen dichos compuestos del diésel comercial y a su vez presentan haluros de alquilo, amina primaria, amina secundaria, alquenos, alquinos, la explicación de tener estos compuestos extras se debe por la presencia de biomasa con característica lignocelulósica que se encuentra presente en la composición de las mezclas, y al ser un material orgánico compuesto por oxígeno y nitrógeno reflejan estos grupos funcionales.

Los resultados del análisis se pueden contrastar con los compuestos orgánicos visibles en el análisis cromatográfico GC-MS. Singh (2020, pp.4-5) en su investigación cotejó aceite pirolítico con diésel comercial obteniendo picos alrededor de 725 cm^{-1} que simbolizan la presencia de hidrocarburos alcanos y picos de 2850 cm^{-1} que de igual manera simbolizan mayor presencia de alcanos y alquinos, los dos picos se hallan presentes en los diferentes combustibles, a la vez el aceite pirolítico tuvo la aparición de otros grupos funcionales como son los aromáticos, alquenos y compuestos oxigenados.

De acuerdo con Lafont (2011, p.39), en su experimentación al comparar diésel con biodiésel se obtuvieron grupos funcionales particulares del biodiesel que no estuvieron presentes en el diésel, como los ésteres metílicos en los picos de 1710 cm^{-1} , a la vez, también se encontraron similitudes en los grupos funcionales de los picos de 3000 cm^{-1} que corresponden a los alcanos como se

plantea en la experimentación actual.

Tabla 12-4: Espectros del análisis FT-IR

Número de onda, cm^{-1}	Fragmento	Grupo funcional
3500	O-H	Alcohol, fenol
3400	N-H	Amidas, aminas primarias y secundarios
3100	=C-H	Alquenos
3000	C-H	Alcanos
1710	C=O	ésteres
1650	N-H	Aminas primarias
1500	C-C	Aromáticos
1470	N-H/C-C	Alcanos/Aromáticos
1370	C-H	Alcanos
1300	C-H(-CH ₂ X)	Haluros de alquilo
1250	C-N	Amina alifática
1000	=C-H	Alquenos
900	N-H	Amina primaria, secundaria
850	C-Cl	Haluros de alquilo
725	C-H	Alcanos
700	-C (triple enlace) C	Alquinos

Realizado por: (Castillo P, 2022).

4.1.7. Resultados del análisis cromatográfico GC/MS

Se efectuó el análisis cromatográfico GC-MS a las fracciones líquidas que alcanzaron mayor rendimiento en la pirólisis, la prueba número 4 y la prueba número 7 tenían rendimientos de 61,6% y el 67,133% respectivamente.

Los resultados conseguidos del análisis cromatográfico GC-MS de las muestras indican los compuestos que están presentes en su composición como se muestran sus imágenes en los anexos. Ya cuantificado el número de carbonos por compuesto de los hidrocarburos se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 13-4: Hidrocarburos presentes en la muestra 4

% de HC	
C ₄ – C ₁₂	41,27
C ₁₀ – C ₁₇	36,51
C ₁₂ – C ₂₃	17,46
C ₂₃ – C ₄₀	3,17

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Tabla 14-4: Hidrocarburos presentes en la muestra 7

% de HC	
C ₄ – C ₁₂	49,019
C ₁₀ – C ₁₇	29,41
C ₁₂ – C ₂₃	13,72
C ₂₃ – C ₄₀	5,88

Realizado por: (Castillo P, 2022).

De acuerdo con Morocho (2019, p.78), los tipos de hidrocarburos se clasifican por número de carbono de la siguiente forma:

Tabla 15-4: Tipos de hidrocarburos por el número de carbonos

Hidrocarburo	N°. de C
Gasolina	C ₄ – C ₁₂
Queroseno	C ₁₀ – C ₁₇
Diésel	C ₁₂ – C ₂₃
Aceite de motor	C ₂₃ – C ₄₀

Fuente: (Morocho, 2019)

Realizado: (Castillo P, 2022).

Con los resultados de la Tabla 14-4 y la Tabla 15-4, se evidenció que las dos muestras de hidrocarburos poseen una mayor cantidad de número de carbonos C₄ a C₁₂ y en base a la Tabla 15-4 se puede representar que están formados esencialmente de hidrocarburos de tipo gasolina.

4.1.8. Análisis del poder calorífico

Mediante el análisis de las dos muestras con mejor rendimiento, el combustible exhibe un poder calorífico de $43983,79 \pm 334,48$ y $44546,81 \pm 442,50$ siendo la segunda un valor definitivamente alto si tomamos como referencia el valor del diésel: 43000 kJ/kg, el cual está dentro del rango para el combustible líquido de mayor poder calorífico (Moro, 2016, p.43).

Basados en dicho valor, se puede deducir que el biocombustible tiene un gran potencial para la utilización de energía ya que mientras más alto es el poder calorífico se puede incrementar significativamente la velocidad de liberación de calor y en consecuencia mejorar la eficiencia térmica en sistemas de combustión (Verma et al., 2018, p.2).

4.1.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico se desarrolló mediante el manejo del software InfoStat, considerando la relación existente entre las variables: temperatura de pirólisis de las muestras y el rendimiento de la fracción líquida que se genera, obteniendo como resultados lo detallado a continuación.

4.1.10. Anova

Tabla 16-4: Datos preliminares del ANOVA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% T	7	0,82	0,73	18,74

Nota: R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación.

Realizado por: (Castillo P, 2022).

Para el total de datos analizados, de acuerdo a la Tabla 16-4, se tiene que R^2 como $R^2Aj \geq 0,70$ por tanto se admite el modelo establecido, es decir, la variabilidad presente en los rendimientos de la fracción líquida tiene dependencia casi total respecto a la temperatura de la pirólisis. Y no puede ser atribuida a variaciones de fenómenos relacionados con la variable misma de rendimiento o con el azar (Ruiz, 2004, p.40).

El CV nos indica que existe una dispersión en los datos de rendimiento obtenidos al pirolizar el poliestireno a 400°C. El estadístico que emplea el análisis de varianza es la denominada Razón F, que descompone la varianza de los datos en dos elementos: uno entre grupos y otro dentro de los grupos. El valor de este parámetro representa el cociente entre los elementos antes mencionados y junto con el valor de “p”, representa el valor más pequeño, establecen si existe o no diferencias estadísticamente significativas (Juárez, 2015, p. 22). En la Tabla 17-4 se expresan los resultados de F y p-valor para un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha=0,05$).

Tabla 17-4: Análisis de la varianza

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1257,64	2	628,82	8,93	0,0335
T(°C) (entre grupos)	1257,64	2	628,82	8,93	0,0335
Error	281,76	4	70,44		
Total	1539,40	6			

Nota: FV: factores/variables; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; Cm: Media cuadrática; F: Razón; p: probabilidad

Realizado por: (Castillo P, 2022).

El valor de F en este caso es de 8,93 siendo superior a 2,840, valor crítico para F obtenido a través de tablas, entonces se cumple que $F \geq FC$ y se puede declarar que existe una o más diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las temperaturas de pirólisis, esto quiere decir

que al menos una de las medias es diferente al resto (Juárez, 2015, p.18).

Respecto a la probabilidad, se tiene que esta es menor a 0,05, valor de α , con un nivel de significación del 5%, esta condición corrobora la presencia de diferencias entre las 5 variables (Frías 2016, p.6). Para determinar, de manera específica, en dónde se encuentran, es necesario interpretar los datos obtenidos en el Test de Tukey.

❖ Test de TUKEY

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron calculados bajo los siguientes contextos:

- **α (alfa):** 0,05
- **DMS (diferencia mínima significativa):** 21,96959
- **Error:** 70,4398
- **gl (grados de libertad):** 4

Tabla 18-4: Análisis de Test de TUKEY

% T	Medias	n	E.E.		
C3 75-25	26,20	2	5,93	A	
C1 50- 50	42,90	2	5,93	A	B
C2 25-75	58,44	3	4,85		B

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: (Castillo P, 2022).

De modo general de acuerdo a la Tabla 18-4 se tiene que el rendimiento de fracciones líquidas obtenidas a 400°C no presenta diferencias estadísticamente significativas, se determinó que la temperatura óptima de pirólisis que satisface las necesidades de la investigación es: 400°C. Esta elección se basa en lo siguiente:

- Se podría afirmar, que para obtener un rendimiento óptimo se requiere la temperatura sea 400°C para la fracción líquida. En efecto, la elección se orientó tomando en cuenta una de las propiedades expuestas determina los hidrocarburos totales. En recuento, la fracción que contiene el mayor porcentaje de hidrocarburos en su composición, con un valor de 67,133%, es aquella obtenida a 400°C.

4.2. Pruebas de Hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

La pirólisis de residuos de cáscara de cebada con poliestireno residual permitirá obtener biocombustible líquido.

4.2.2. Hipótesis específicas

4.2.2.1. Hipótesis I

- La caracterización de la biomasa nos dará los componentes específicos para generar un buen combustible líquido.

Tipo de hipótesis: descriptiva

La determinación de la biomasa, definida por las pruebas de: densidad, espectroscopía FT-IR y humedad, demostró que el plástico adquirido era efectivamente poliestireno. Determinado el tipo de polímero y de acuerdo a indagaciones previas se conoce que el poliestireno es un termoplástico que empieza y termina su degradación a temperaturas comprendidas entre: 250 y 300°C respectivamente.

4.2.2.2. Hipótesis II

- La temperatura óptima nos dará combustible líquido de buena calidad.

Tipo de hipótesis: estadística

Fundados en el análisis estadístico expuesto preliminarmente, se llevó a cabo un contraste de hipótesis, para ello se designó la hipótesis planteada como alterna y se generó a partir de ella la hipótesis nula. H_0 : La temperatura de pirólisis: 400°C no tiene un efecto diferente sobre el rendimiento de la fracción líquida. H_A : La temperatura de pirólisis: 400°C tienen un efecto diferente sobre el rendimiento de la fracción líquida.

El resultado de P conseguido en el ANOVA, para un $\alpha = 0,05$ fue de $P < 0,0001$. Entonces: $P < 0,05$ Y se determina que: Existe una fuerte evidencia para rechazar la hipótesis nula y apoyar la validez de la hipótesis alterna.

4.2.2.3. Hipótesis III

- Los parámetros del producto obtenido tendrán la composición ideal de un biocombustible.

Tipo de hipótesis: descriptiva

En base en el análisis físico-químico, se determinó que la fracción líquida es una mezcla de compuestos hidrocarbúricos, lo cual es completamente comprensible puesto que el aceite es producido a partir de plásticos, materiales que son procedentes del petróleo. Al explorar el aceite en mayor se puede hallar fracciones tanto livianas como pesadas, es decir, que se va a encontrar la presencia de naftas, gasolina, kerosene, fuel oil, gasoil y ceras. Estos son considerados como combustibles debido a que tienen la capacidad de liberar energía a una forma aprovechable. Por lo tanto, la fracción líquida que posee en mayor o menor proporción cada uno de estos productos puede considerarse como un tipo de combustible heterogéneo.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó a través de diferentes pruebas en el reactor de pirólisis que la cantidad adecuada de biomasa de cáscara de cebada a usarse en este proceso, puede variar acorde al plástico residual debido a que en los rendimientos obtenidos de dos pruebas superan los valores del 50%, siendo estos pesos de las biomásas de 0,1kg a 0,4Kg, pero a la vez los pesos del poliestireno superan los pesos de la biomasa lo cual en conjunto al realizar el proceso se obtuvo la fracción sea superior al 50% como indican los resultados.
- Se determinó que la temperatura óptima de operación para la pirólisis es a 400°C. Este valor no se centró en el rendimiento de la fracción líquida sino más bien apoya la formación y distribución de los hidrocarburos totales, ya que se verificó que a la temperatura seleccionada se favorece la producción de compuestos más ligeros.
- Se evaluó la comparación entre las propiedades físico-químicas del combustible obtenido y las propiedades del diésel comercial y la gasolina, se verificó que el aceite guarda una mayor relación con las propiedades atribuidas a la gasolina. Sin embargo, si se toma en cuenta el poder calorífico, propiedad principal de todo combustible, se verificó que se encuentra en el rango de los valores asignados para los combustibles antes mencionados, lo cual convierte al aceite en una fuente potencial de energía alterna.
- En base al análisis físico-químico del combustible se precisó que este es una mezcla compleja de hidrocarburos: naftas, querosene y gas oíl que van desde el $C_4 - C_{12}$. Es importante mencionar que dentro de su constitución existe una mayor presencia de compuestos en el rango de $> C_{12} - C_{20}$, fracción equiparable a la composición de combustibles diésel.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de tener un mejor proceso de pirólisis al momento de obtener los resultados se recomienda homogenizar la muestra mediante la trituración del plástico hasta un diámetro de partícula entre 2mm y 1 cm^2 , para optimizar el proceso.
- Para el desarrollo óptimo de la pirólisis, en la formación de una atmósfera inerte es recomendable mejorar el mecanismo de cerrado del reactor, en el mejor de los casos que permita el reemplazo de los empaques de teflón ya que después de determinados ensayos su funcionalidad empieza a decrecer afectando la ausencia de oxígeno requerida y que las mangueras de conducción del sistema de refrigeración conectadas al reactor sean mucho más resistentes para que el paso del agua al momento de generar enfriamiento al reactor no sea limitado.
- Realizar diferentes tipos de pruebas en la variación de la velocidad de calentamiento para determinar la viabilidad de la obtención de rendimientos superiores concernientes a la fracción líquida.
- Diseñar e instalar un sistema de recolección de gases que permita su cuantificación, caracterización y de ser factible su aprovechamiento como fuente de energía durante cada uno de los procesos que se realiza en el reactor, teniendo como resultado un aprovechamiento de estos residuos.
- Llevar a cabo un análisis referente al refinamiento del combustible obtenido para evaluar su eventual aplicación y utilización en motores a diésel dependiendo del uso que se le dé ya sea en vehículos y la industria teniendo en cuenta el volumen del mismo y el beneficio hacía el medio ambiente al reemplazar por biocombustible.

BIBLIOGRAFÍA

AMBIENTUM. *Ambientum*. [En línea] 7 de Marzo de 2018. Recuperado de: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/concepto_y_clasificacion.a.sp. 2018.

ARANDES, JOSÉ, BILBAO, JAVIER & LÓPEZ, DANILO. *Reciclado de residuos plásticos*. Reciclado de residuos plásticos. 2004.

ARTEAGA, JUAN, et. al. *scielo*. [En línea] Julio-Diciembre de 2012. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a17.pdf>.

CABEZAS, AREVALO R. I. *Residuos de biomasa*. Residuos de biomasa. Recuperado de: [https://www.melfosur.es/biomasa-energiarenovable/#:~:text=Que%20es%20la%20biomasa&text=Residuos%20forestales,camada%20de%20aves%2C%20etc.\)2010](https://www.melfosur.es/biomasa-energiarenovable/#:~:text=Que%20es%20la%20biomasa&text=Residuos%20forestales,camada%20de%20aves%2C%20etc.)2010).

CALEÑO, FARDY. *Universidad Autónoma de Occidente*. [En línea]. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12340/T09200.pdf;jsessionid=C1ACBF3CCE9199B2E775FC6B2E7C9AD5?sequence=5>. 2020.

CANNELA, S. *La cebada, el grano con más fibra*. La cebada, el grano con más fibra. 2017.

DR. DIESEL, RUDOLF. *Origen de los biocombustibles*. Recuperado de: https://www.lewainc.com/es/aplicaciones/biodiesel?pk_campaign=LEWA_INC_N_America_ES_ECU_Awendungen&pk_keyword={keywod}&pk_medium=cpc&pk_source=google&gclid=CjwKCAiApfeQBhAUEiwA7K_UH1hkxvq0slJdh-jTa-qixszb7QG6iO9RI2Cw-a9yVPvoPcrwft0vyBoC6g0QAvD_BwE. 1895.

ENDESA. *Endesa Ecuador*. [En línea] 2021. Recuperado de: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>.

ENERGIZA. *Energiza*. [En línea] 30 de Diciembre de 2012. Recuperado de: https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=56:procesos-de-conversi%C3%B3n-de-biomasa-en-energ%C3%ADa.

F, SALINAS V. & VAZQUEZ. 2015. *Diseño y Construcción de un Sistema de Combustión para*

la Caracterizacion Termica de Desechos Plasticos Utilizados como Combustible Alternativo. Sangolqui. Revista Politecnica : s.n., 2015.

FALCÓN, FRAN. *appa renovables.* [En línea] 20 de Agosto de 2020. Recuperado de: <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/.2020>.

FERRARI, JAVIER, et. al. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA.* [En línea] 2017. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/imagenes/articulo_ferrari.pdf.

GARCÍA, ALCOCEL & FERRÁNDIZ, V. “Durability of expanded polystyrene mortars,” *Constr. Build. Mater. s.l. : Vol. 46.*

HENRY FORD. *Primer diseño de su automóvil modelo, esperaba utilizar el etanol como combustible.* Primer diseño de su automóvil modelo, esperaba utilizar el etanol como combustible. 1908.

HERNÁNDEZ, R. *Evaluacion de la Pirólisis Termica y Ctalitica de Polietileno en Lecho Fluidizado como Tecnica de Reciclado.* Influencia de las Variables sobre los Productos Generados. [aut. libro] *Evaluacion de la Pirólisis Termica y Ctalitica de Polietileno en Lecho Flui.* 2017.

ILBAY, P., & GEOVANNY, O. *El plástico a la vez es parte fundamental de las personas en el diario vivir.* El plástico a la vez es parte fundamental de las personas en el diario vivir. .2018.

IPIALES, PAÚL. *dspace.esPOCH.* [En línea] 2018. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8649/1/96T00451.pdf>.

JORDÁN, WILLIAM & PAÚL, ZURITA. *Dspace Epoch.* [En línea] 2018. Recupero de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8661/1/96T00463.pdf>.

LUCAS, ANA Y DEL PESO, CARLOS. *Sostenible palencia.* Sostenible palencia. 2012. pp. 1-5.

MARQUEZ, CRISTINA. *La siembra de la cebada recibe apoyo.* La siembra de la cebada recibe apoyo. 2016, p. 1.

MORALES, JORDAN W. D., & ZURITA GARCÉS, P. O. *Pirólisis mediante poliestireno para en un adecuado proceso generar bio - combustible.* Pirólisis mediante poliestireno para en un adecuado proceso generar bio - combustible. 2018.

OCLES, GUDIÑO ETHNA MARÍA. *Las industrias del sector poliestireno en el marco del Código Orgánico.* Universidad Andina Simón Bolívar : s.n., 2017.

P. SALTOS, I. CHANGO, M. ALDÁS, & F. QUIROZ. “*Reciclaje de Poliestireno Expandido por el Método de Disolución Precipitación,*” Rev. Politec. 2015, Vols. Vol. 36,no. 2.

QUIMBITA, D., & ISABEL, C. *La pirólisis se trata del proceso térmico de descomposición química de compuestos que están constituidos de carbono como plásticos.* La pirólisis se trata del proceso térmico de descomposición química de compuestos que están constituidos de carbono como plásticos 2019.

RAMÍREZ, GABRIELA. *repositorio uta.* [En línea] 2012. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3063/1/SBQ.29.pdf>.

RECOPE. *Estándares internacionales de combustibles para transporte como el Diesel.* Estándares internacionales de combustibles para transporte como el Diesel. 2011.

SALINAS, EDMAR. *Los biocombustibles.* s.l. : El Cotidiano, núm. 157, pp. 75-82, 2019.

SHADANGI, KRUSHNA & KAUSTUBHA, MOHANTY. Co-pirólisis de semillas de Karanja y Níger con poliestireno residual para producir. 2015, pp. 1-2.

SURA. *El punto de inflamación de los productos de biocombustible.* El punto de inflamación de los productos de biocombustible . 2010.

V. ABRAIRA, A. PÉREZ DE VARGAS. *Métodos Multivariantes en Bioestadística.* s.l. : Ed. Centro de Estudios Ramón Areces., 2016.

ANEXOS

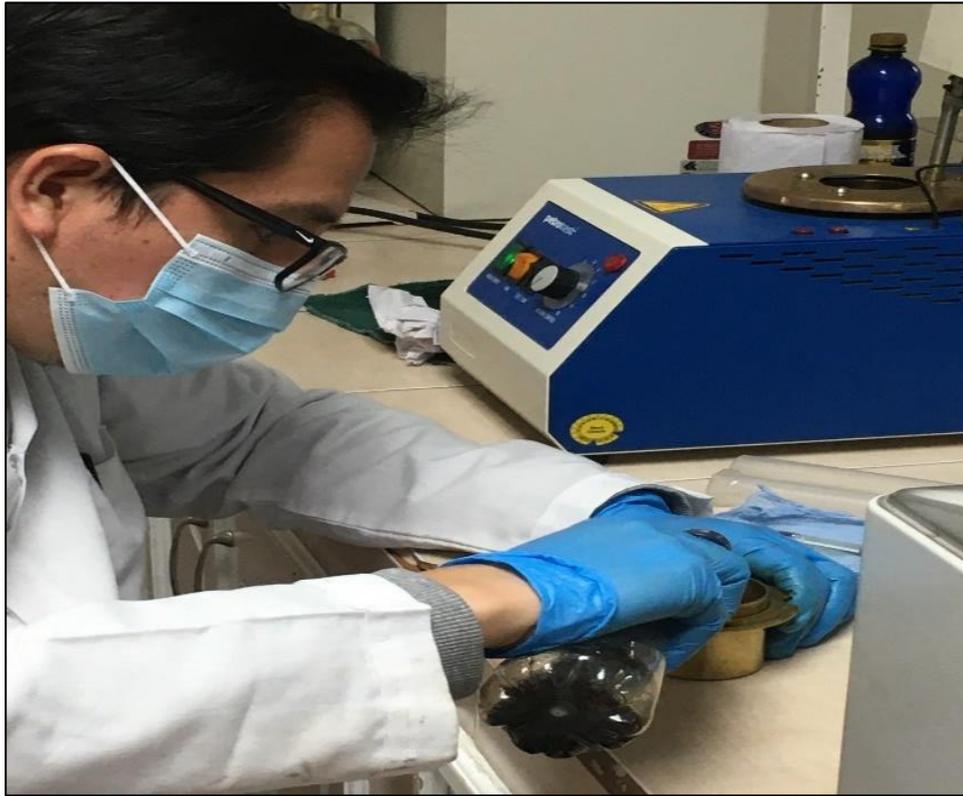
ANEXO A.: PREPARACIÓN DE MUESTRA Y PESOS DE LAS MUESTRAS



ANEXO B: TOMA DE MUESTRAS DEL PROCESO - REACTOR DE PIRÓLISIS



ANEXO C: PRUEBAS DE FLASH POINT



ANEXO D: PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA LA DESTILACIÓN FRACCIONADA



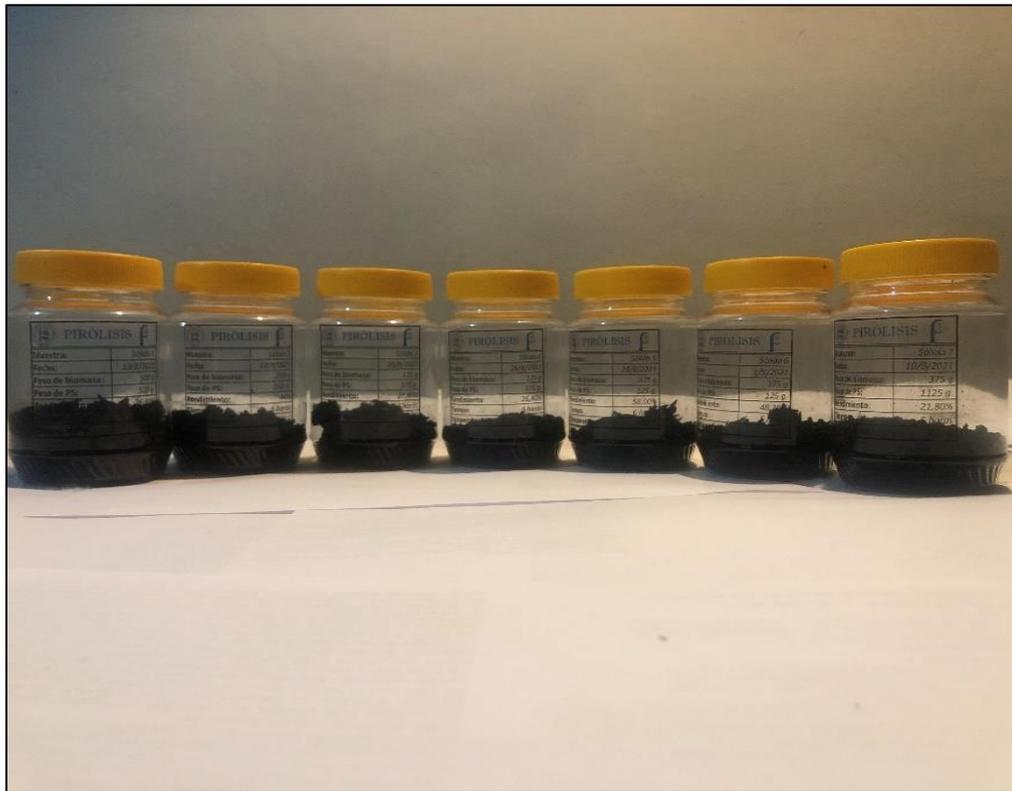
ANEXO E: MUESTRAS DE BIOCOMBUSTIBLE DESTILADAS



ANEXO F: MUESTRAS LÍQUIDAS DEL RESULTADO - PROCESO DE PIROLISIS



ANEXO G: MUESTRAS SÓLIDAS DEL RESULTADO DE LA PIRÓLISIS



ANEXO H: ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA A 400°C



ANEXO I: INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAFÍA GC-MS



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS**

Informe N°: 21-281.1
Fecha de emisión: 2021-11-22

Cliente: PAULO ROBERTO CASTILLO SANTILLÁN
Contacto: Sr. Paulo Castillo
Dirección: Riobamba, parroquia San Luis, calle Independencia, casa 51
Teléfono: 0958700039 **Correo-e:** paulo.r.castillo@gmail.com
Tipo de muestra: PIRÓLISIS DE POLÍMERO RESIDUAL CON CÁSCARA DE CEBADA
Descripción de la muestra: MUESTRA 1 M7
Condiciones de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra: 2021-11-11
Código de la muestra: 21-281.1
Fecha de realización de ensayos: 2021-11-17
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Investigación
Método de ensayo: Cromatografía GC-MS

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO*				
Número de componente*	Nombre del componente*	Tiempo de retención (minutos)*	Composición, %	Probabilidad, %
1	Acetona	1,508	0,011%	43
2	1-metoxi-1-buten-3-ino	1,739	0,029%	76
3	Benceno	1,985	0,034%	94
4	1,3,5-cicloheptatrieno	2,793	3,580%	87
5	2-Butenal, (E)	3,761	0,014%	72
6	Etilbenceno	4,129	4,473%	91
7	Benceno metanimina	4,95	66,317%	89
8	(1-metiletil), Benceno	5,38	0,206%	96
9	Biciclo [4.2.0] octa-1,3,5-trieno, 7 -metil	5,841	0,030%	95
10	alfa.-metil estireno	6,758	6,728%	94
11	alfa.-metil estireno (isómero)	6,948	0,033%	94
12	(Z) -1-fenil propeno	7,764	0,097%	96
13	1-propinil, benceno	8,225	0,025%	93
14	(1-metilenpropilo), Benceno	8,6	0,027%	93
15	Difenil metano	18,49	0,034%	97
16	Di-bencilo	20,608	0,286%	81
17	1,1'-[etilidobis (oxi-2, 1-etanodil)] bis, Benceno	21,373	0,122%	72
18	1,1'- (1,3-propanodil) bis, Benceno	23,737	2,607%	83
19	1,2-difenilciclopropano	24,052	0,120%	99
20	1,1-difenilciclopropano	24,23	0,025%	59
21	4,5,6,7-tetracloro-2a, 8a-dihidro-2a-fenil-2H-tiaciclobuta (b) (1,4) benzodioxina 1,1 -dióxido	24,321	0,492%	35
22	(E) -Estilbeno (isómero)	24,93	0,059%	97
23	3-butinil benceno	25,301	5,939%	38
24	1,2-difenil 2-butenona	25,43	0,315%	60
25	Bi ciclo [4.2.1] nona-2,4,7-trieno, 7-fenil	25,494	0,796%	98
26	1,1'- (1,4-butanodil) bis, Benceno	25,912	0,058%	38
27	(E) -Estilbeno (isómero)	26,18	0,033%	95

* Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: FTL
Elaborado por: VRT

Revisado por:

X Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P05-3

Hoja 1 de 3

ANEXO J: ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS**

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO*				
Número de componente*	Nombre del componente*	Tiempo de retención (minutos)*	Composición, %	Probabilidad, %
28	1,1'- (1,2-dimetil-1,2-et henedil) bis-, (Z) , Benceno	26,37	0,133%	91
29	N-fenil,2-naftalenamina	26,593	0,092%	38
30	1,1'- (2-metil-1-propenilideno) bis,Benceno	26,858	0,366%	91
31	N- [2- (4-metil-4H-1,2,4-triazol-3-ii) etil] -3-nitro,Benceno sulfonamida	27,073	0,033%	27
32	(3-cloraillo),Benceno	27,264	0,089%	53
33	1,2,4,8-tetrametilbicio [6.3.0] undeca-2,4-dieno	27,94	0,081%	92
34	2,5-difenil-1,5-hexadieno	28,706	0,118%	92
35	Estireno	29,333	0,038%	38
36	1,3,5,7-ciclooctatetraeno-1-propanol	29,492	0,031%	35
37	2-fenil,Naftaleno	30,125	0,228%	90
38	[1,2] Ditiolo [1,5-b] [1,2] oxatiale -7-Siv, 4-fenil	30,443	0,077%	38
39	O-etil éster, metilen-S (IV) -trifluorometil éster, Ácido ditiocarbónico	30,541	0,029%	70
40	1,5-difenil-1,5-hexadieno	30,982	0,040%	55
41	4H-Benz [de] antraceno, 5,6-dihidro	32,542	0,065%	72
42	p-terfenilo	33,426	0,010%	93
43	6-fenil-n-hexanol	35,861	0,016%	43
44	1,1'- [1- (metililo) etiliden] bis,Benceno	36,243	0,015%	38
45	N-óxido de metadona	37,313	0,043%	72
46	2- (benciloxi) etil metil carbonato (isómero)	37,46	0,052%	59
47	2- (benciloxi) etil metil carbonato (isómero)	38,098	0,052%	43
48	3 - [(fenilmetil) tio] -, (E) , Acido 2-propenoico	38,508	4,598%	22
49	(2,3-difenil ciclopropil) metil fenil sulfóxido, trans	39,766	0,055%	42
50	(2,3-difenilciclopropil) metil fenil sulfóxido, trans (isómero)	40,022	0,060%	35
51	N-óxido de metadona	40,15	0,143%	64
52	trans-1-fenil-1-penteno	40,964	0,050%	47
53	1,4-difenil-1,3-butadieno	41,209	0,056%	98
54	1,4-difenil-1,3-butadieno (isómero)	41,469	0,015%	98
55	1,1': 2', 1'' - Terfenilo, 4'-fenil	42,058	0,097%	99
56	tripirido [2,3-b: 2', 3'-f: 2'', 3''-j] triazaciclododecina	42,337	0,105%	50
57	1,3-butadieno, 1,4-difenil-, (E, E)-	42,458	0,040%	55
58	Tetracido [16.3.1.1 (4,8) .1 (11,15)] tetracosa-1 (22), 4,6,8 (24), 11,13,15 (23), 18,20-noneno	42,88	0,091%	30
59	1,2,3,4-tetrahidrobenz [a] antraceno	43,147	0,036%	51
60	5'- fenil, 1,1': 3', 1'' - Terfenilo	45,354	0,446%	99
61	3' fenil, 2-propenil ester, ácido benceno propanoico	47,879	0,035%	27
62	Benceno butano nitrilo	47,972	0,024%	47
63	N-bencil-1- {2 - [(trimetilsilil) oxil] fenil} etanamina	48,082	0,050%	22

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Nota: Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 %, Temperatura: 19,7 °C

Analista: FTL
Elaborado por: VRT

Revisado por:

X *Richard Herrera V.*
Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICA



ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P05-3

Hoja 2 de 3

ANEXO K: INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAMA 21-281.1

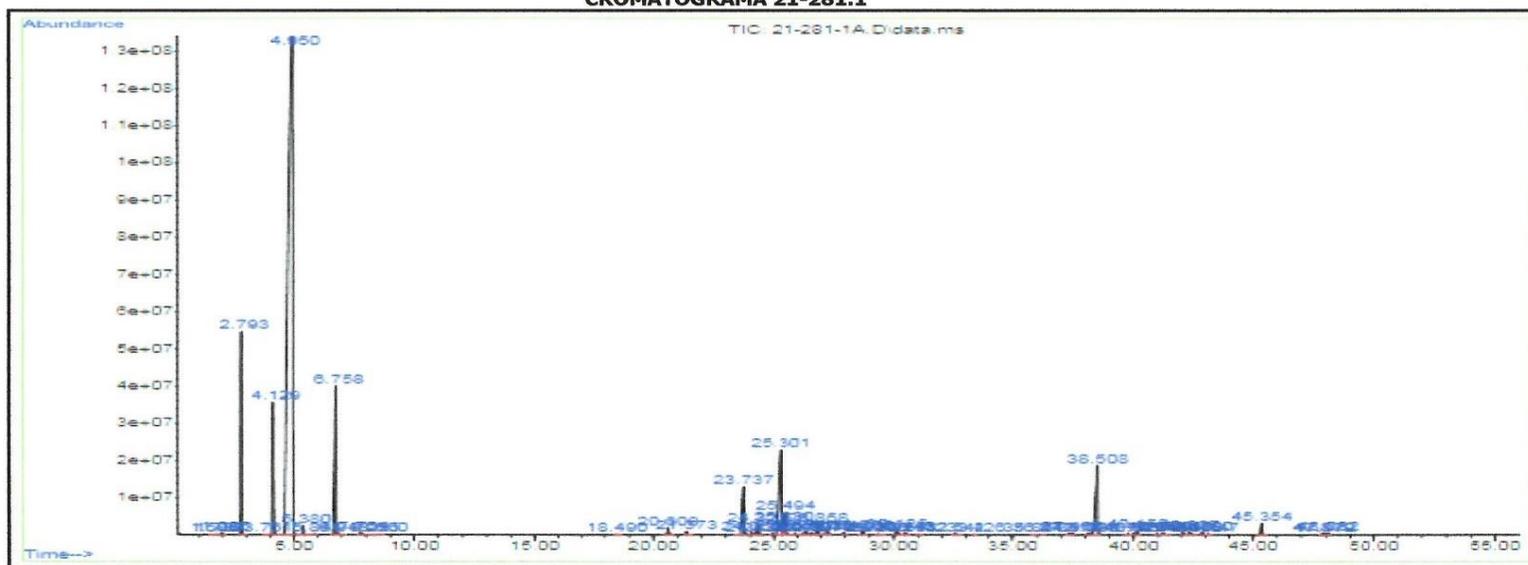


UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

ANEXO
CROMATOGRAMA 21-281.1



ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P05-3

Hoja 3 de 3

ANEXO L: ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 21-281.2
Fecha de emisión: 2021-11-22

Cliente^a:	PAULO ROBERTO CASTILLO SANTILLÁN
Contacto^a:	Sr. Paulo Castillo
Dirección^a:	Riobamba, parroquia San Luis, calle Independencia, casa 51
Teléfono^a:	0958700039
Tipo de muestra^a:	Correo-e^a: paulo.r.castillo@gmail.com
Descripción de la muestra^a:	PIRÓLISIS DE POLÍMERO RESIDUAL CON CÁSCARA DE CEBADA
Condiciones de la Muestra:	MUESTRA 2 M4
Fecha de ingreso de muestra:	Sin descripción específica
Código de la muestra:	2021-11-11
Fecha de realización de ensayos:	21-281.2
Lugar donde se realizaron los ensayos:	2021-11-17
Método de ensayo:	Laboratorio DPEC – Área de Investigación
	Cromatografía GC-MS

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO*				
Número de componente*	Nombre del componente*	Tiempo de retención (minutos)*	Composición, %	Probabilidad, %
1	Ácido 3-butenico	1,516	0,009%	38
2	Ácido acético, éster metílico	1,569	0,007%	72
3	2-metil,Furano	1,745	0,022%	76
4	Benceno	1,993	0,013%	96
5	Tolueno	2,794	2,885%	91
6	2-Pentino-1-ol	3,77	0,041%	74
7	1,3-dimetil, Benceno	4,117	2,279%	97
8	1,3,5,7-ciclooctatetraeno	4,985	74,299%	87
9	(1-metiletil),Benceno	5,399	0,119%	95
10	(Z)-1-fenilpropeno (isómero)	5,873	0,020%	97
11	alfa.-metilestireno	6,771	6,400%	94
12	(Z)-1-fenil propeno (isómero)	7,786	0,064%	96
13	1,2,4-trimetil,Ciclohexano	15,386	0,015%	55
14	4-isopropil-1,3-ciclohexanodiona	15,828	0,014%	50
15	Bi bencilo	20,607	0,100%	81
16	1,1'- (1-metil-1,2-etano diil) bis,Benceno	21,378	5,800%	87
17	1,1'- (1,3-propanodil) bis,Benceno	23,721	1,999%	94
18	1,2-difenilciclopropano	24,065	0,039%	96
19	1,1'- (1-metil-1,3-propanodil) bis, Benceno	24,32	0,272%	30
20	3-butiril benceno	25,286	5,087%	38
21	1,3-dioxano, 5-metil-5-nitro-2-fenil	25,42	0,284%	47
22	1,2-difenil ciclopropano	25,475	0,542%	99
23	1,3-difenil,2-propanona	25,918	0,048%	25
24	1,2,3,4-tetrahidro-1-fenil,Naftaleno,	26,179	0,018%	94
25	1,1'- (3-metil-1-propeno-1,3-dil) bis,Benceno (isómero)	26,372	0,062%	91
26	1,3-definil, 1H-pirazol	26,599	0,058%	42
27	1,1'- (3-metil-1-propeno-1,3-dil) bis,Benceno (isómero)	26,844	0,196%	90

* Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: FTL
 Elaborado por: VRT

Revisado por:

x Ing. Richard Herrera V.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fg.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P05-3

Hoja 1 de 3

ANEXO M: INFORME ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO*				
Número de componente*	Nombre del componente*	Tiempo de retención (minutos)*	Composición, %	Probabilidad, %
28	1,4,5,6-tetrahidro-6- [(fenilmetil) -2H-1,2,4,5-tetrazin-3-tiona	27,267	0,051%	52
29	9-etenil,Antraceno	27,949	0,036%	83
30	1H-indeno, 1-metil	28,714	0,042%	64
31	1,2,4,8-tetrametil biciclo [6.3.0] undeca-2,4-dieno	30,145	0,060%	90
32	O-etil éster, metilen-S (IV) -trifluorometil éster,Ácido ditiocarbónico	30,453	0,064%	56
33	1,5-difenil-1,5-hexadieno	30,999	0,021%	60
34	N-óxido de metadona (isómero)	37,31	0,022%	64
35	2- (bencilox) etilmetilcarbonato	37,455	0,027%	76
36	(2-hidroxi-5-nitro-bencilideno) -hidrazida del ácido 3-fenil-propiónico	38,094	0,023%	32
37	3 - [(fenilmetil) tio] , 2-Ácido propenoico	38,496	3,921%	22
38	(2,3-difenilciclopropil) metil fenil sulfoxido, trans	39,758	0,043%	38
39	beta.-etil estiril metil, Sulfoxido	40,017	0,058%	20
40	N-óxido de metadona (isómero)	40,142	0,084%	59
41	1-pentil, Benceno	40,958	0,045%	53
42	1,4-difenil-1,3-butadieno	41,202	0,043%	98
43	1,1': 2', 1'' - Terfenilo, 4'-fenil	42,051	0,049%	99
44	4-feniltetrahidro-1,3-oxazina-2-tiona	42,325	0,065%	45
45	1,4-difenil-1,3-butadieno	42,452	0,028%	42
46	tripirido [2,3-b: 2', 3'-f: 2'', 3'-l:] [1,5,9] triazaciododecena	42,872	0,047%	46
47	1-metil-4-p-tollinaftaleno	43,141	0,028%	53
48	1,1': 3', 1'' - Terfenilo, 5'-fenil	45,325	0,196%	99
49	3-Imidazolín-1-ol, 2- (2-hidroxifenil) -5,5-dimetil-4-fenil-, 3-oxido	47,868	0,038%	30
50	1,1'- [1- (2,2-dimetil-3-butenil) -1,3-propanodil] bis, Benceno	47,964	0,017%	38
51	p-bis (4-fenilbutil),Benceno	48,068	0,047%	25

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Nota: Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 %, **Temperatura:** 19,7 °C

Analista: FTL
 Elaborado por: VRT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.
 RESPONSABLE TÉCNICA

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
 EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P05-3

Hoja 2 de 3

ANEXO N: INFORME DE RESULTADOS CROMATOGRAMA 21-281.2

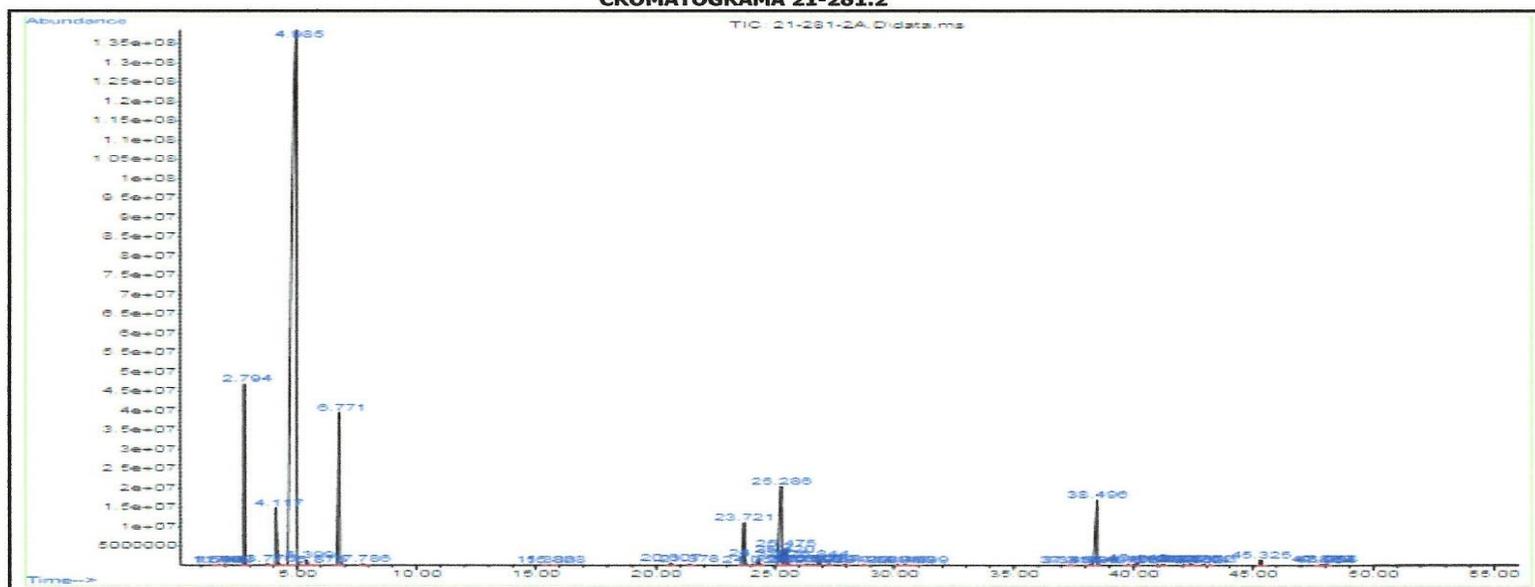


UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

ANEXO
CROMATOGRAMA 21-281.2



ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / 03 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: <i>Paulo Roberto Castillo Santillan</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniero en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA ÑUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO
CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCI,
ln=QUITO, serialNumber=000021188,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA ÑUSTE
Fecha: 2022.03.11 12:32:40 -05'00'



0452-DBRA-UTP-2022